ANNALES
DE
L'INSTITUT NATIONAL
DE LA
RECHERCHE AGRONOMIQUE

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

ANNALES DE L'INSTITUT NATIONAL
DE LA
RECHERCHE AGRONOMIQUE

SÉRIE A

ANNALES AGRONOMIQUES

SCIENCE DU SOL - FERTILISATION - BIOCLIMATOLOGIE
PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE

Année 1958

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
7, rue Keppler – Paris

RAPPEL DE QUELQUES NOTIONS THERMODYNAMIQUES RELATIVES A L'ACTIVITÉ DES IONS DANS LE SOL

PAR

J. CHAUSSIDON

Station centrale d'Agronomie, Versailles

PLAN DU MÉMOIRE

Introduction.

Définition de quelques grandeurs thermodynamiques fondamentales.

Equilibre d'un système.

Notion d'activité.

1° Systèmes ne contenant pas de particules chargées.
2° Systèmes contenant des particules chargées.

Potentiel en solution. Théorie de Debye et Hückel.

Potentiel au voisinage de la particule. « Double couche « ou mieux couche diffuse.

Mesure des activités ioniques.

Conclusion.

INTRODUCTION

Les publications récentes sur le comportement des ions dans le sol font de plus en plus souvent appel à des concepts thermodynamiques, dont l'application à l'étude du « pouvoir alimentaire » du sol s'est révélée d'une utilité incontestable. Il nous a semblé qu'une revue de tels concepts, mise à jour sous forme condensée trouve sa place dans un périodique agronomique. Le présent essai ne s'adresse nullement aux thermodynamiciens spécialisés.

Avant d'aborder les précisions mathématiques, nous donnerons d'abord un aperçu schématique des trois théories qui nous paraissent fondamentales :

— la première, assez ancienne est une transposition de la théorie cinétique de la pression des gaz (MAXWELL-BOLTZMANN) au cas des substances dissoutes ;

— la seconde, due à DEBYE et HÜCKEL, vise à calculer dans quelle mesure, l'attraction entre ions positifs et négatifs d'une solution d'électrolyte réduit la « pression » partielle de chacun des deux ensembles d'ions ;

— la troisième, due à GOUY et complétée par CHAPMAN, étudie la distribution des ions positifs et négatifs d'un électrolyte dissous, au voisinage d'une surface chargée électriquement, comme conséquence de l'attraction des uns et de la répulsion des autres.

1° Les déplacements au hasard (agitation thermique) de particules dissoutes, assurent à leur ensemble une certaine expansibilité, une certaine » pression «, une certaine » activité « — toutes notions assez voisines — dont dépend l'aptitude de cet ensemble à émettre un flux de particules plus ou moins intense, ou à réagir avec une autre espèce chimique. Une solution est considérée comme idéale lorsque la « pression » partielle du constituant envisagé obéit à la loi des gaz parfaits $PV = RT$.

2° Dans une solution d'un électrolyte chaque ion positif constitue un centre d'attraction pour des ions négatifs et un centre de répulsion pour des ions positifs (et inversement), ce qui n'exclut pas, d'ailleurs, que tous les ions puissent rester soumis individuellement à des déplacements au hasard. De cette attraction ou répulsion résultent des hétérogénéités locales de distribution, donc, par exemple, un excès de « pression » des ions négatifs au voisinage de chaque ion positif. Partant de l'idée qu'à l'équilibre, le travail des forces électrostatiques est égal au travail mécanique, dit de volume, qui serait nécessaire pour rétablir l'homogénéité, DEBYE et HÜCKEL ont pu calculer, dans le cas d'électrolytes forts, un coefficient de réduction (le coefficient d'activité inférieur à l'unité) qu'il faut appliquer à la concentration, pour que la loi des gaz parfaits s'applique.

3° Envisageons le cas d'une argile, chargée négativement, en contact avec une solution d'un électrolyte. L'argile attire les cations qui se concentrent a voisinage de sa surface, mais, comme précédemment, ces cations restent soumis à la diffusion qui tend à rétablir l'équilibre. Partant du fait qu'à l'équilibre les deux actions se compensent, GOUY a calculé que la concentration des cations décroît d'une façon continue et que la concentration des anions augmente d'une façon continue à partir de la surface de l'argile, la neutralité électrique tendant à s'établir à une distance suffisante de la surface. Les courbes traduisant la distribution statistique des ions de chaque signe à l'équilibre, dépendent, entre autres choses, de la densité de charge électrique de l'argile et de la concentration de la solution. La couche de GOUY est d'autant plus diffuse que la concentration de l'électrolyte est plus faible.

Les recherches récentes au moyen d'isotopes rehaussent singulièrement l'intérêt de la théorie de GOUY. Elles ont montré que les cations concentrés à la surface d'une argile demeurent soumis à une agitation thermique, comme ceux qui en sont plus éloignés, et que tous

se déplacent continuellement au hasard, dans tout l'espace accessible à la diffusion.

Cette notion d'agitation thermique conduit à penser que, dans un élément de volume de la couche de GOUY-CHAPMAN, doivent exister, entre cations et anions, des forces d'attraction du type DEBYE et HÜCKEL. Il semble raisonnable en effet de penser que pour un ion de la couche diffuse existe une atmosphère ionique de signe opposé, qui se forme et se détruit sans cesse. Il est remarquable de noter d'ailleurs que la théorie de la couche diffuse et celle de DEBYE et HÜCKEL font appel, à la base, au même principe, celui de l'application de la répartition de MAXWELL-BOLTZMANN. On peut donc penser que des thermes correctifs, type coefficient d'activité de DEBYE et HÜCKEL, sont applicables aux propriétés des ions de la couche diffuse ; il est fort aventureux néanmoins de chercher à les prévoir même qualitativement, car il ne suffit pas de tenir compte d'une concentration plus élevée pour songer à un coefficient d'activité plus petit : on est dans l'ignorance complète de la valeur que peut prendre la constante diélectrique du milieu et, surtout, on ne se trouve plus dans le cas simple des solutions où le champ électrique a une symétrie sphérique. On peut toutefois se demander dans quelle mesure de telles considérations n'interviennent pas dans certains aspects de la rétention des phosphates par une argile en milieu calcique.

En résumé, la réduction de l'activité ou du potentiel chimique des cations par contact avec une surface chargée négativement, et la réduction de leur activité par l'attraction des ions négatifs au sein même de la solution (DEBYE et HÜCKEL) relèvent de causes qui ne sont pas fondamentalement différentes ; cependant, la force de liaison *est orientée* dans le premier cas, mais non dans le second. La première action l'emporte d'ailleurs sur la seconde, dans le cas d'une argile.

Nos conceptions théoriques ont ainsi acquis plus d'unité qu'auparavant. En particulier, l'absorption des cations par une argile et le refoulement des anions (adsorption négative, effet DONNAN) apparaissent comme deux phénomènes liés à une seule et même cause, « l'électrisation de l'électrolyte », selon l'expression de GOUY, au contact de la surface chargée de l'argile.

DÉFINITION DE QUELQUES GRANDEURS THERMODYNAMIQUES FONDAMENTALES

L'énergie interne U d'une phase donnée, peut s'exprimer d'une façon générale comme une fonction de la pression P, du volume V, de la température T, de la charge électrique e, et du nombre de moles de chacun des c composants, n_1, $n_2 \cdots n_c$:

$$U = f(P, V, T, n_1, n_2 \cdots n_c, e). \qquad (1)$$

La première loi de la thermodynamique exige que l'accroissement d'énergie d'un système *de composition et masses constantes*, soit égal à la chaleur absorbée par le système, plus le travail mécanique et électrique fourni au système par l'extérieur. En admettant que le travail mécanique se réduise à un travail de volume à pression constante, on a :

$$dU = dQ - PdV + dW_{el} \tag{2}$$

Q = chaleur absorbée,

W_{el} = travail électrique.

Le raisonnement peut être généralisé, en tenant compte cette fois des variations de composition du système, suivant l'expression $\frac{\partial U}{\partial n_i} dn_i$, n_i étant la concentration d'un des composants du système.

L'expression (2) s'écrit alors :

$$dU = dQ - PdV + \sum_{i=1}^{c} \frac{\partial U}{\partial n_i} dn_i + dW_{el} \tag{3}$$

et on peut l'expliciter :

1° En écrivant que le travail électrique est égal au produit d'une charge par un potentiel :

$$dW_{el} = \frac{\partial U}{\partial e} de. \tag{4}$$

2° En notant que la 2e loi de la thermodynamique exige qu'entre la chaleur réversible absorbée et l'entropie existe la relation

$$dQ = TdS. \tag{5}$$

Il vient alors :

$$dU = TdS - PdV + \sum_{i=1}^{c} \frac{\partial U}{\partial n_i} dn_i + \frac{\partial U}{\partial e} de. \tag{6}$$

On *définit*, à partir de l'énergie interne, un certain nombre de *grandeurs d'état*. Celle qui nous intéresse principalement est l'énergie libre, définie par la relation :

$$F = U - TS + PV. \tag{7}$$

(La fonction F définie par la relation (7) doit en toute rigueur être appelée enthalpie libre, l'enthalpie étant définie par $H = U + PV$. Nous conserverons néanmoins la nomenclature « énergie libre » pour F, qui est encore adoptée très souvent en France, et à peu près toujours, dans les ouvrages anglo-américains).

En tenant compte de (6) il est clair que la différentielle totale de la fonction énergie libre s'écrira :

$$dF = - SdT + VdP + \sum_{i=1}^{c} \frac{\partial F}{\partial n_i} dn_i + \frac{\partial F}{\partial e} de \tag{8}$$

où l'on voit que l'influence de la variation de concentration sur l'énergie libre s'exprime par un terme $\frac{\partial F}{\partial n}$ dn, semblable au terme $\frac{\partial U}{\partial n}$ dn de l'expression (3).

Les termes $\frac{\partial F}{\partial n}$ et $\frac{\partial U}{\partial n}$ jouent un rôle analogue au terme $\frac{\partial U}{\partial e}$ qui est un potentiel électrique. On convient de les appeler *potentiel chimique* ; on définit le potentiel chimique μ, d'un constituant, à partir d'une grandeur d'état, comme la dérivée partielle de cette grandeur d'état par rapport à la concentration du constituant envisagé, toutes les autres variables étant maintenues constantes.

On aura ainsi dans les deux cas précédents :

$$\mu = \left(\frac{\partial U}{\partial n_i}\right)_{S, V, n_1 \cdots n_{i-1}, n_{i+1} \cdots n_c, e} = \left(\frac{\partial F}{\partial n_i}\right)_{T, P, n_1 \cdots n_{i-1}, n_{i+1} \cdots n_c, e} . \qquad (9)$$

Les indices indiquent les grandeurs qui sont considérées comme constantes dans le calcul de la dérivée partielle de U par rapport à n_i .

ÉQUILIBRE D'UN SYSTEME

1° Pour un système à *température, pression et charge électrique* constantes, GIBBS a pu montrer, l'équation (8) étant applicable à chaque phase, qu'à l'équilibre :

$$\begin{aligned} \mu_1' &= \mu_1'' = \cdots = \mu_1^P \\ &\vdots \\ \mu_c' &= \mu_c'' = \cdots = \mu_c^P \end{aligned} \qquad (10)$$

$\mu_i \ldots \mu_P^i$ représentant les potentiels chimiques du composant i dans les P phases. Ainsi, à l'équilibre, le potentiel chimique d'un constituant est le même dans chaque phase du système.

L'équation (10) a été écrite pour des phases non chargées l'une par rapport à l'autre. Ceci signifie pour GIBBS qu'il n'y a pas lieu d'envisager de travail électrique. Or dans un système argile-solution, les deux phases ne sont pas au même potentiel électrique ; la surface de l'argile est en effet chargée par la présence de sites ionisés négatifs alors que l'ensemble de la solution possède une charge égale et de signe contraire, condensée près de l'interface. Une variation de concentration de particules pondérales *chargées électriquement* impliquera certainement un travail électrique. La restriction de GIBBS n'est ainsi plus respectée. L'équation (10) ne peut plus alors nous renseigner sur l'équilibre d'un système tel que celui que nous envisageons. On notera ψ' et ψ'' les potentiels électriques à la surface et à une grande distance de cette dernière, et on en examinera la nature plus en détail ultérieurement.

2° Si ψ' et ψ'' sont les valeurs de la fonction potentiel électrique, le

travail de charge, en tenant compte de l'hypothèse de la réversibilité est, à *température, pression et concentration constantes* :

$$d\mathrm{F} = \left(\frac{\partial \mathrm{F}}{\partial e}\right)_{\mathrm{P,T},n_1 \cdots n_c} de = (\psi' - \psi'')de. \tag{11}$$

Si la concentration des composants d'une phase change, à *température et pression constantes*, on a d'après (8) :

$$d\mathrm{F} = \sum_{i=1}^{c} \mu_i dn_i + (\psi' - \psi'')de. \tag{12}$$

Le 2e terme du 2e membre de l'équation (12) représente un travail électrique (produit d'une charge par un potentiel). On peut l'exprimer d'une façon plus générale en faisant la somme des travaux élémentaires de σ particules de charge e_σ et de potentiel ψ, ce potentiel étant, il faut le noter, purement arbitraire. Analytiquement, ceci revient à un simple changement de variable. On a alors :

$$(\psi' - \psi'')de = \sum_{j=1}^{\sigma} \psi e_j dn_j \tag{13}$$

j est l'une quelconque des σ particules de charge e_σ et l'équation (2) s'écrit :

$$d\mathrm{F} = \sum_{i=1}^{c} \mu_i dn_i + \sum_{j=1}^{\sigma} \psi e_j dn_j \tag{14}$$

c représentant toutes les particules chargées ou non.

σ représentant seulement les particules chargées.

Si l'on considère un processus où n'entrent en jeu que des particules chargées (comme c'est le cas dans un système argile-électrolyte) nous pouvons écrire $c = \sigma$ et

$$d\mathrm{F}_e = \sum_{1}^{\sigma} \mu_j dn_j + \sum_{1}^{\sigma} \psi e_j dn_j \tag{15}$$

soit

$$d\mathrm{F}_e = \sum_{1}^{\sigma} (\mu_j + \psi e_j) dn_j \tag{16}$$

l'indice e indiquant que le terme électrique intervient dans l'expression de $d\mathrm{F}$. Si l'on pose

$$\eta_j' = \mu_j + \psi e_j \tag{17}$$

ou d'une façon plus générale, en tenant compte de la valence Z_j de la particule et en considérant des grandeurs molaires, on a

$$\eta_j = \mu_j + z_j \mathrm{F}\psi \tag{18}$$

et

$$d\mathrm{F}_c = \sum_{1}^{\sigma} \eta_j dn_j. \tag{19}$$

On voit alors, que par analogie avec l'équation (10), l'équilibre d'un système électrochimique s'exprimera par l'égalité des valeurs de η_i pour un constituant dans différentes phases.

η_i a été défini par GUGGENHEIM comme *le potentiel électrochimique.*

NOTION D'ACTIVITÉ

1° Systèmes ne contenant pas de particules chargées.

La notion d'activité a été introduite en 1901 par LEWIS, et se définit comme une fonction plus restrictive encore que le potentiel chimique, par l'équation

$$\mu_i = \mathrm{RTL}a_i + \mu_i^0 \qquad (20)$$

où μ_i^0 est le potentiel chimique standard, tel que pour $a_i = 1$, $\mu_i^0 = \mu_i$

Cette formule s'établit de la façon suivante :

On a vu (équation 7) que l'énergie libre était donnée par la relation

$$\mathrm{F} = \mathrm{U} - \mathrm{TS} + \mathrm{PV}.$$

Nous avons écrit (équation 8) la forme la plus générale de la différentielle totale de F, pour un système soumis à des variations de température, pression, concentration et charge électrique. Si nous considérons un système à composition et charge électrique constante, l'équation (8) s'écrira évidemment :

$$d\mathrm{F} = -\mathrm{S}d\mathrm{T} + \mathrm{V}d\mathrm{P}.$$

Or dF est la différentielle totale exacte d'une fonction F de deux variables P et T ; elle peut donc être mise sous la forme

$$d\mathrm{F} = \left(\frac{\partial \mathrm{F}}{\partial \mathrm{P}}\right)_{\mathrm{T}} d\mathrm{P} + \left(\frac{\partial \mathrm{F}}{\partial \mathrm{T}}\right)_{\mathrm{P}} d\mathrm{T}$$

d'où l'on déduit immédiatement

$$\left(\frac{\partial \mathrm{F}}{\partial \mathrm{P}}\right)_{\mathrm{T}} \equiv \mathrm{V}.$$

L'équation des gaz parfaits PV = RT s'écrit alors en remplaçant V par sa valeur :

$$\left(\frac{\partial \mathrm{F}}{\partial \mathrm{P}}\right)_{\mathrm{T}} \equiv \mathrm{V} = \frac{\mathrm{RT}}{\mathrm{P}}.$$

A température constante, dT = O, il vient en intégrant

$$\mathrm{F} = \mathrm{RTL}\mathrm{P} + \mathrm{cte}.$$

Si P = 1, cte = F°. C'est l'énergie libre dans l'état de référence correspondant à la pression unité, ou énergie *libre standard,* et

$$\mathrm{F} = \mathrm{F}^0 + \mathrm{RTL}\mathrm{P}.$$

Dans le cas d'un mélange idéal de plusieurs constituants, cette relation est vraie pour chacun d'eux, à condition de considérer cette fois des grandeurs dites partielles, c'est-à-dire ne se rapportant qu'au constituant envisagé. Si l'on note $\overline{A}_i$ la grandeur partielle pour une propriété quelconque A du constituant i, on a pour l'énergie libre partielle :

$$\overline{F}_i = F^0 + RTL P_i$$

soit, sous forme différentielle :

$$d\overline{F}_i = RT d L P_i.$$

Or, il est aisé de démontrer que le terme $\overline{F}_i$ est précisément le potentiel chimique du constituant i $\left(\frac{\partial F}{\partial n_i}\right)_{T, P, n_1 \cdots n_{i-1}, n_{i+1} \cdots n_j, e}$

Si l'on étend alors les résultats obtenus pour les gaz parfaits aux solutions idéales, en tenant compte de la concentration c_i et non plus de la pression partielle P_i, on a :

$$d\mu_i = RT d L c_i.$$

Soit en intégrant

$$\mu_i = RTL c_i + \text{cte}.$$

Si $c_i = 1$, cte $= \mu_i^0$, potentiel chimique standard, fonction de la température et de la pression. Il vient alors :

$$\mu_i = RTL c_i + \mu_i^0.$$

En solution non idéale, LEWIS a écrit cette formule pour les activités :

$$\mu_i = RTL a_i + \mu_i^0.$$

L'activité a_i a la signification d'une concentration corrigée. On la déduit de la concentration c, par l'équation :

$$a = \gamma \cdot c$$

où γ est le coefficient d'activité. Ce coefficient traduit l'intéraction des particules entre elles ; il est toujours inférieur à 1. Il tend vers 1 pour les concentrations très petites, et décroît pour des concentrations plus grandes.

Dans un système à pression et températures constantes, comportant plusieurs phases, on voit que, si l'on peut faire l'hypothèse que le potentiel chimique standard d'une espèce i est le même dans toutes les phases, l'équilibre sera décrit par la relation :

$$a_i' = a_i'' = \cdots = a_i^P. \qquad (22)$$

Cependant, toutes ces équations ne sont applicables qu'à des particules non chargées. Or, dans les systèmes qui nous préoccupent, les équations (20) et (22) perdent leur utilité pour deux raisons fondamentales :

a) nous devons tenir compte de l'activité de particules chargées électriquement ;

b) nous savons que dans un système électrochimique, la connaissance du potentiel chimique μ n'est plus suffisante pour décrire l'état du système.

2° Systèmes contenant des particules chargées.

Au point de vue de la thermodynamique pure, l'activité d'un ion est une notion qui n'a pas de sens. En effet, dans un système constitué par une solution aqueuse de K Cl par exemple, il a y deux composants dont les potentiels chimiques peuvent être déterminés thermodynamiquement, K Cl et H_2O. Quoique les constituants ioniques K^+ et Cl^- soient d'une importance fondamentale pour définir le comportement et les propriétés du système, leurs concentrations ne sont pas des variables indépendantes. La thermodynamique ne permet donc pas l'évaluation des potentiels chimiques, énergies libres, activités, etc. d'espèces ioniques individuelles. Néanmoins, on convient d'utiliser ces notions, et on parlera « d'activité » ionique hypothétique, en spécifiant bien que seuls certains rapports ou certains produits d'activités ioniques, ont une signification physique réelle.

Puisque la définition de l'activité à partir du potentiel chimique est insuffisante, on peut songer à exprimer l'activité ionique en fonction du potentiel électrochimique η. C'est ce que font BABCOCK et OVERSTREET en écrivant :

$$\eta_i = \mathrm{RTL}\bar{a}_i + \eta_i^0 \tag{23}$$

$\bar{a}_i$ dans cette expression désigne, dans les termes de BABCOCK, «l'activité totale», l'activité « thermodynamique » s'obtenant par l'équation (21).

On peut chercher toutefois à exprimer la condition d'équilibre d'un système électrochimique, en écrivant que le potentiel électrochimique η est uniforme dans toutes les phases à l'équilibre. Si les exposants *a* et *s* désignent respectivement la phase argile et la phase solution à l'équilibre, l'équilibre pour un ion *i* s'écrit :

$$\eta_i^a = \eta_i^s \tag{24}$$

ou, en tenant compte de la valeur de η (équation 18) :

$$\mu_i^a + z_i \mathrm{F}\psi^a = \mu_i^s + z_i \mathrm{F}\psi^s \tag{25}$$

μ_i étant le potentiel chimique de l'ion *i*, *z*, sa valence, F le faraday et ψ le potentiel dans la phase considérée. Si l'on exprime alors le potentiel chimique en terme d'activité, il vient :

$$\mu_i^a = \mu_i^{0a} + \mathrm{RTL}a_i^a \tag{26}$$

$$\mu_i^s = \mu_i^{0s} + \mathrm{RTL}a_i^s \tag{26 bis}$$

et (25) s'écrit :

$$\mu_i^{0a} + \mathrm{RTL}a_i^a + z_i\mathrm{F}\psi^a = \mu_i^{0s} + \mathrm{RTL}a_i^s + z_i\mathrm{F}\psi^s. \qquad (27)$$

Cette équation est extrêmement importante dans les systèmes qui nous intéressent. Elle indique clairement, comme on va le voir les limites dans lesquelles il est raisonnable de parler d'activité.

En premier lieu, on voit que potentiel chimique étant défini à une constante arbitraire près, qui est la grandeur standard (ici μ_i^{0a} et μ_i^{0s}) l'équation (27) n'aura sa pleine utilité que dans le cas où l'on peut écrire $\mu_i^{0a} = \mu_i^{0s}$. C'est une hypothèse qui est très généralement faite. Elle n'est pourtant pas directement évidente quand il s'agit d'une phase colloïdale et d'une phase solution à l'équilibre : en effet, rien ne prouve que l'on puisse obtenir une activité égale à l'unité (définition de l'état standard, si $a_i = 1$ $\mathrm{RTL}a_i = 0$ et $\mu_i = \mu_i^0$) dans chaque phase, pour une pression et une température uniformes comme on l'a précisément supposé au départ.

En second lieu, si l'on suppose que $\mu_i^{0a} = \mu_i^{0s}$, l'équation (27) s'écrit :

$$\mathrm{RTL}a_i^a + z_i\mathrm{F}\psi^a = \mathrm{RTL}a_i^s + z_i\mathrm{F}\psi^s \qquad (28)$$

et l'on voit que les potentiels ψ^a et ψ^s étant différents, les activités ioniques a_i^a et a_i^s dans le système à l'équilibre, ne peuvent être considérées comme égales, ainsi qu'on le répète souvent.

Il ressort de la dernière équation que la connaissance des potentiels électriques ψ^a et ψ^s, ou au moins de leur différence $\psi^a - \psi^s$, sera au plus grand intérêt pour la détermination exacte de l'activité. Il convient donc d'en préciser la nature, et on envisagera successivement le potentiel en solution ψ^s, et le potentiel au voisinage immédiat de la particule, ψ^a,

POTENTIEL EN SOLUTION. THÉORIE DE DEBYE ET HUCKEL

Cette théorie, applicable aux électrolytes forts dilués, repose sur le principe suivant : soit une solution renfermant n_1, n_2... n_s ions par cc, de charge e_1, e_2... e_s. Comme des forces coulombiennes du type $\frac{e_j e_i}{\mathrm{D}r^2}$ (D étant la constante diélectrique, et r la distance séparant les deux charges) agissent entre toutes les paires d'ions de charge respective e_j et e_i, le mouvement de ces ions est soumis à une certaine servitude : la présence d'un ion en un point donné et à un instant donné affecte la distribution spatiale des autres ions en son voisinage immédiat, à l'instant considéré. Il se crée de la sorte, autour d'un ion positif, une « atmosphère » qui contient en moyenne plus d'ions négatifs et moins d'ions positifs que le reste de la phase non perturbée électriquement. Un point important de la théorie de DEBYE et HÜCKEL est que, si aucune force n'agit sur l'électrolyte, l'atmopshère ionique possède une *symétrie sphérique*, et que la distribu-

tion des ions devient une fonction de la valeur absolue $|r|$ de la distance qui sépare deux charges, et non du vecteur $\vec{r}$.

On écrit que le potentiel est relié à la densité de charge spatiale par l'équation de Poisson avec

$$\nabla^2 \psi = -\frac{4\pi\rho}{D} \tag{29}$$

∇^2 = opérateur de LAPLACE $= \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$.

ρ = densité spatiale de charge.

D = constante diélectrique du milieu.

En tenant compte de l'agitation thermique des ions, on peut écrire que la concentration d'un ion au voisinage d'un autre ion est donnée par la loi de distribution de MAXWELL, BOLTZMANN :

$$c \pm = c_0 \exp (\mp zF\psi/RT) \tag{30}$$

avec :

$c \pm$ = concentration en cation ou en anion.

c_0 = concentration de l'électrolyte.

z = valence de l'ion considéré.

ψ = potentiel de l'atmosphère ionique.

En combinant (29) et (30) on obtient l'équation fondamentale

$$\nabla^2 \psi = -\frac{4\pi}{D} \sum_{i=1}^{s} c_i e_i \exp (- zF\psi/RT) \tag{31}$$

En admettant que l'énergie électrique de la particule, $zF\psi$ est petite devant R T, on peut faire l'approximation suivante :

$$\exp (- zF\psi/RT) \simeq 1 - zF\psi/RT \tag{32}$$

qui assimile l'exponentielle aux premiers termes de son développement en série.

Les calculs permettent de montrer qu'un ion i est soumis, du fait de la présence de l'atmosphère ionique, au potentiel que créerait une charge ponctuelle unique - e_j, qui serait située à une certaine distance (déterminée par ailleurs par la théorie, et appelée *épaisseur* de l'atmosphère ionique $\frac{1}{\mathcal{H}}$).

Le potentiel est donc de la forme

$$\psi_a = -\frac{e_j \mathcal{H}}{D} \tag{33}$$

et en évaluant le travail à fournir pour charger la particule i de la charge o à sa charge effective, on obtient l'expression du coefficient d'activité. Il est clair que ce travail est fonction du nombre de charges présentes

dans le milieu, c'est-à-dire de la force ionique de ce milieu, définie par l'expression :

$$I = \frac{1}{2}\sum_{1}^{s} z_i^2 c_i \qquad (34)$$

POTENTIEL AU VOISINAGE DE LA PARTICULE. « DOUBLE COUCHE » OU MIEUX COUCHE DIFFUSE

D'après la définition de KRUYT, la « couche diffuse consiste en un excès d'ions présents sur la phase solide » (et liés à cette phase solide) — « et en une quantité équivalente d'ions de signe opposé distribués dans la phase solution près de l'interface » (distribution statistique d'ions soumis

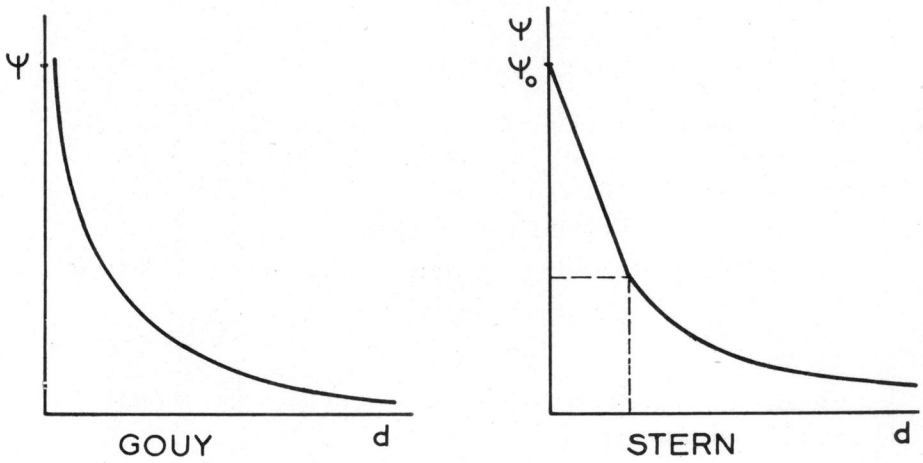


FIG. 1.

à l'agitation thermique). « La charge sur le solide est traitée comme une charge superficielle répartie uniformément. La charge spatiale dans la solution est formée par la distribution non uniforme d'ions ponctuels ».

Les théories indépendantes de GOUY (1910) et de CHAPMAN (1913) assignent une forme exponentielle au potentiel en fonction de la distance. STERN en 1924, tient compte de la taille des ions et considère d'abord une variation linéaire du potentiel, puis une variation exponentielle de ce dernier.

Le traitement mathématique de la fonction potentiel est au départ très analogue à celui de DEBYE et HÜCKEL. Il s'en individualise à partir de l'équation (31).

La concentration locale des ions au voisinage immédiat de la particule solide, est donnée par l'équation de BOLTZMANN :

$$c_{\pm} = c_0 \exp\left(\mp zF\psi/RT\right) \qquad (30)$$

où C_+ est une concentration *locale*, et ψ un potentiel *local*.

Les concentrations moyennes des ions sont :

$$\bar{c}_{\pm} = \overline{c_0 \exp\left(\mp zF\psi/RT\right)} \tag{35}$$

Dans la théorie de DEBYE, on tient compte d'un potentiel moyen. Or ici, la concentration $\bar{c}_{\pm}$ déterminée par (35) ne sera égale à la concentration calculée à l'aide du potentiel moyen $\bar{\psi}$.

$$\bar{c}'_{\pm} = c_0 \exp\left(\mp zF\bar{\psi}/RT\right)$$

que si ce potentiel est assez petit pour permettre le remplacement de $exp\ x$ par $1 + x$. Si ψ est assez petit :

$$\begin{aligned}\bar{c}_{\pm} &= c_0 \exp\overline{\left(\mp zF\psi/RT\right)} = c_0\overline{(1 \mp zF\psi/RT)} \\ &= c_0(1 \mp zF\bar{\psi}/RT) = c_0 \exp\left(\mp zF\bar{\psi}/RT\right)\end{aligned} \tag{37}$$

L'approximation de DEBYE et HÜCHEL ne sera valable, pour un ion monovalent par exemple que si

$$\frac{F\psi}{RT} \ll 1, \text{ soit à } 20^oC \quad \text{avec} \quad R = 8{,}32 \quad \text{et} \quad F = 96\,500$$

$$|\psi| \ll 25{,}3\ mv.$$

Ceci constitue dans le cas des argiles un cas exceptionnel : il est en effet courant d'obtenir des potentiels de surface, tels que

$$|\psi| = 150 \text{ à } 200\ mv.$$

On voit ainsi, que dans le cas du potentiel au voisinage de la particule, l'on est obligé de conserver en général comme équation fondamentale, une équation du type (31). En intégrant deux fois, on obtient l'expression complète du potentiel en fonction de la concentration et de la distance à la particule

$$\exp\left(\frac{a}{2}\right) = \frac{\exp\left(\frac{b}{2}\right) + 1 + \left[\left(\exp\left(\frac{b}{2}\right) - 1\right) \cdot \exp\left(c\right)\right]}{\exp\left(\frac{b}{2}\right) + 1 - \left[\left(\exp\left(\frac{b}{2}\right) - 1\right) \cdot \exp\left(c\right)\right]} \tag{38}$$

avec

$$\begin{aligned} a &= zF\psi/RT \\ b &= zF\psi_0/RT \\ c &= \mathcal{H} \cdot x \qquad et \qquad \mathcal{H} = \sqrt{\frac{8\pi ne^2z^2}{\varepsilon kT}} \end{aligned} \tag{39}$$

ψ_0 = potentiel de surface de la particule.
ψ = potentiel à la distance x.
z = valence de l'ion considéré.
n = nombre d'ions par cc dans la solution non perturbée électriquement.
e = charge élémentaire.
k = constante de BOLTZMANN.
F = Faraday.
R = constante des gaz.

D'un aspect un peu complexe, (38) est simplement l'équation d'une exponentielle passant de $\psi = \psi_0$ pour $x = 0$ (c'est-à-dire sur la surface de la particule) à $\psi = 0$ pour $x = \infty$.

Ainsi, la théorie de DEBYE et HÜCKEL et celle de la couche diffuse ont un point initial commun, reposant sur la distribution de MAXWELL-BOLTZMANN et l'application de la loi de POISSON. Elles s'individualisent quand on doit tenir compte du potentiel d'une façon explicite. Conduisent-elles à des résultats analogues?

La théorie de DEBYE permet de calculer une activité ionique en solution ; celle de la double couche ne semble autoriser que des conclusions sur le nombre d'ions par unité de volume, c'est-à-dire la concentration. L'objection qu'on peut faire sur la différence entre ces résultats se réfute facilement si l'on rappelle l'hypothèse de KRUYT, celle des ions ponctuels. Il est clair que dans ce cas « activité » et « concentration » sont synonymes. Par contre, il est plus difficile, de prime abord, de voir s'il existe une unité logique entre ces deux théories très similaires, et les quelques résultats plus directement thermodynamiques que nous avons rappelés au début de cet exposé. Nous montrerons dans la conclusion qu'en fait un lien très étroit existe entre ces différents calculs.

Le dernier point à envisager maintenant est celui de la mesure éventuelle d'une activité ionique. Cette mesure faite en suspension garde-t-elle la validité qu'elle a en solution et peut-on interpréter le chiffre obtenu?

MESURE DES ACTIVITÉS IONIQUES

Cette mesure se fait potentiométriquement à l'aide d'une électrode réversible et d'une électrode de référence. L'électrode réversible peut être soit une électrode du type ClAg, soit une électrode à membrane — électrode de verre pour la mesure du pH, électrode à membrane de résine échangeuse d'ions sélective soit pour les cations, soit pour les anions suivant le type de membrane. Il est inutile d'entrer ici dans le détail de la théorie des cellules de mesure d'activités ioniques individuelles. Il suffira de souligner que l'électrode de référence est toujours constituée par une électrode impolarisable (calomel par exemple) reliée à la solution par un pont salin, Cl K saturé, agar saturé de Cl K, NO_3, NH_4 + Cl K etc. On est ainsi obligé de tenir compte de l'existence d'un potentiel de jonction entre l'électrode de référence et la solution étudiée. La valeur de ce potentiel est essentiellement fonction du nombre de transfert des ions du pont salin, Cl^- et K^+ par exemple. La constance de ce potentiel est la conséquence du fait que Cl^- et K^+ sont deux ions sensiblement équitransférents. On a pu montrer que pour une électrode donnée plongée dans des solutions variables, la valeur du potentiel de jonction était constante à la précision des mesures courantes près. Si le fonctionnement de l'électrode

réversible est bien établi, on peut donc être sûr d'une mesure d'activité ionique en solution.

Il n'en est plus de même dans une suspension. On peut très schématiquement considérer que lorsque Cl K migre dans une suspension de particules chargées électriquement, les ions K^- et Cl^+, ne sont plus équitransférents à la suite de l'existence d'attractions coulombiennes entre la particule et les ions. Le potentiel de jonction varie, et la mesure d'activité perd sa signification.

Cet effet a été signalé il y a à peu près 30 ans par WIEGNER et PALLMANN. Il est connu sous le nom *d'effet de suspension*.

Des physicochimistes, de l'école hollandaise en particulier, ont fait des études systématiques très poussées de l'effet de suspension. Pour eux, il s'agit d'une réalité physique qui s'exprime par l'équation (28).

$$RTL a_i^a + z_i F\psi^a = RTL a_i^s + z_i F\psi^s.$$

L'effet de suspension, mesuré matériellement par la différence de potentiel existant entre deux électrodes de référence plongeant dans la suspension et son liquide à l'équilibre, serait tout à fait assimilable au potentiel de membrane de DONNAN.

D'autres physicochimistes n'admettent pas les théories relatives à l'effet de suspension. Ils considèrent qu'il s'agit là d'un phénomène très complexe, difficilement justiciable d'un traitement théorique.

Il est extrêmement malaisé de se faire une opinion à ce sujet. S'il est classique d'observer une différence de pH entre suspension d'argile et liquide à l'équilibre, des mesures très précises sont difficiles et souvent discordantes. Une chose est certaine : c'est l'impossibilité théorique et pratique dans laquelle on est d'attribuer à une « mesure » d'activité en suspension une signification rigoureuse. Il ressort d'ailleurs des quelques résultats qu'on a rappelés sur l'équilibre, que la notion d'activité se prête assez mal à la caractéristique d'un système argile-solution. Il est logique que la « mesure » d'une telle grandeur soit difficilement susceptible d'interprétation.

CONCLUSION

Nous avons cherché dans cet exposé à définir la notion d'activité ionique telle qu'on l'entend en général (c'est-à-dire au sens de DEBYE et HÜCKEL) dans le cas d'un système argile-solution à l'équilibre.

Nous avons montré que l'activité ionique « thermodynamique », n'était certainement pas uniforme dans toute la couche diffuse (p. 10). Or, si l'on s'en tient à l'image classique qui fait de cette activité une « pression partielle » d'ions, on voit que le critère de l'équilibre qu'on adopte en général — l'uniformité de cette pression partielle — n'est pas utilisable dans le cas présent.

Ceci résulte du fait que les espèces chimiques dont nous étudions la répartition sont des espèces électriquement chargées. Ainsi, tout travail de concentration de masse (« travail de volume » de la thermodynamique classique) s'accompagne d'un travail de concentration de charge électrique. En d'autres termes, le passage d'un ion d'un élément de volume à un autre, se traduira par un bilan énergétique où interviennent à la fois un terme « mécanique » et un terme « électrique ».

Cette notion est clairement exprimée par la formule du potentiel électrochimique

$$\tilde{\mu} = \underbrace{RTL a}_{\text{travail mécan.}} + \underbrace{zF\psi}_{\text{travail élec.}}$$

L'équilibre du système se traduit par le fait que le bilan énergétique en est nul.

Si A et B sont deux points de la couche diffuse (A plus près de la particule que B) nous devons écrire à l'équilibre :

$$RTL a_A + zF\psi_A = RTL a_B + zF\psi_B.$$

$$A \begin{cases} a_A \\ \psi_A \end{cases} \qquad B \begin{cases} a_B \\ \psi_B \end{cases}$$

Or, les potentiels ψ_A et ψ_B étant du signe de la particule, c'est-à-dire négatifs, on a pour des cations,

$$zF\psi_A < zF\psi_B \qquad \text{et} \qquad RTL a_A > RTL a_B$$

soit

$$a_A > a_B.$$

Si l'on écrit maintenant que la couche diffuse est en équilibre avec le reste de la solution, nous pouvons considérer l'égalité des potentiels électrochimiques entre un point de la couche diffuse, A, et un point éloigné de la solution, E. Comme les potentiels ψ_A, ψ_B, etc., sont mesurés par rapport au potentiel ψ_E nul, par définition, le terme $zF\psi_E = 0$. On a alors :

$$RTL a_A + zF\psi_A = RTL a_E$$

soit

$$RTL \frac{a_A}{a_E} = -zF\psi_A \qquad \text{et} \qquad a_A = a_E \cdot \exp(-zF\psi_A/RT).$$

Il est extrêmement intéressant de noter qu'on retrouve ici la formule de répartition de MAXWELL-BOLTZMANN que nous avons utilisée et dans la théorie de DEBYE-HUCKEL et dans celle de la couche diffuse, et qui y est introduite à la suite de considérations de thermodynamique statistique assez différentes de notre raisonnement.

Nous avons déjà montré pourquoi l'on pouvait parler ici indifféremment d'activité ou de concentration.

Ainsi les deux théories qui nous ont permis de préciser la notion de potentiel électrique font implicitement l'hypothèse que l'équilibre du système s'exprime par l'égalité des potentiels électrochimiques.Corrélati-

vement, on voit que l'on néglige la différence éventuelle existant entre les potentiels chimiques standard.

Il semble donc tout à fait légitime, de penser que c'est bien la grandeur $\eta = RTL a + zF\psi$ qui détermine énergétiquement les systèmes que nous étudions.

RÉSUMÉ

Rappel de quelques notions thermodynamiques relatives à l'activité des ions dans le sol

Après avoir rappelé quelques notions fondamentales de thermodynamique, l'auteur étudie les conditions d'équilibre d'un système suspension d'argile-solution ; il montre que la notion d'activité d'un ion en solution n'est pas suffisante pour caractériser un tel équilibre ; on doit tenir compte à la fois de l'activité et du potentiel électrique, ces deux facteurs s'intégrant dans la notion de potentiel électrochimique. L'examen rapide de la fonction potentiel électrique conduit à rappeler les principes de calcul de la théorie de DEBYE et HÜCKEL et de celle de la double couche diffuse. Il donne enfin quelques indications sur la mesure d'une activité ionique individuelle.

SUMMARY

Some thermodynamic concepts in relation to the ion activity in soil

Some fundamental thermodynamic concepts are discussed and equilibrium conditions of the suspension-solution system of clay are investigated. It is shown that ion activity in the solution does not sufficiently characterize the equilibrium and one has also to take into consideration the electric potential, since these two factors form part of the concept of electrochemical potential. The function of electric potential is briefly discussed and the principles of calculation of the Debye-Hückel theory and of the diffuse double-layer are reviewed. Some indications for the measurement of individual ion-activity are given.

ZUSAMMENFASSUNG

Rückblick auf einige thermodynamischen Begriffe bezüglich der Ionenaktivität im Boden

Nach einem Rückblick auf einige Hauptbegriffe der Thermodynamik, untersucht der Autor die Gleichgewichtsbedingungen eines Systems : Tonaufschlämmung-Lösung, er zeigt, dass der Begriff von Aktivität eines in Lösung befindlichen Ions nicht genügend ist um ein solches Gleichgewicht zu charakterisieren ; man muss gleichzeitig die Aktivität und das elektrische Potential berücksichtigen, diese beide Faktoren integrieren sich im Begriffe des elektrochemischen Potentials. Die kurze Untersuchung der Funktion : elektrisches Potential führt zum Rückschau auf die Prinzipien der Ausrechnung der Debye- und Hückel'schen Theorie sowie der Doppelschichttheorie. Am Ende gibt er einige Angaben über die Messung der individuellen Ionenaktivität.

РЕЗЮМЕ

Некоторые термодинамические понятия касающиеся активности ионов в почвах.

Ж. ШОССИДОН.

Изложив (= напомнив) некоторые основные понятия термодинамики, автор изучает условия равновесия одной системы : муть глины-раствор. Он доказывает, что понятие активности какого-либо иона в растворе недостаточно, чтобы охарактеризовать это равновесие. Необходимо иметь в виду одновременно активность и электрический потенциал, эти два понятия сливаясь в понятии электрохимического потенциала. Краткий рассмотр функции «электрический потенциал» приводит к тому, что нужно вспомнить основы рассчета, установленные теорией ДЕВУЕ и HÜCKEL и теорией двойного неясного слоя (double couche diffuse). Он дает, наконец, некоторые указания относительно измерения индивидуальной ионной активности.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

HARNED (H. S.), OWEN (B. B.). — The physical chemistry of electrolytic solutions. Reinhold. New-York, 1950.

— Membrane phenomena. A general discussion of the Faraday Society. The Aberdeen University Press. Aberdeen, 1956.

BABCOCK (Kl.), OVERSTREET (R.). — Sur la définition de l'activité. Congrès International de la Science du Sol. Paris, 1956.

BATES (R. G.). — Electrometric pH determinations. Wiley. New-York, 1954.

BEAR (F. E.). — Chemistry of the soil. Reinhold. New-York, 1955.

BUTLER (J. A. V.). — Electrical phenomena at interfaces. Methuen. London, 1951.

CLARKE (H. T.). — Ion transport across membranes. Academic Press. New-York, 1954.

EMSCHWILLER (G.). — Chimie physique. Presses universitaires de France. Paris, 1951.

FRIPIAT (J.). — Physico-chimie du sol. Cours professé à l'Université de Louvain.

WILLARD GIBBS (J.). — Equilibre des systèmes chimiques. Gauthier Villars. Paris, 1899.

GOUY (M.). — Sur la constitution de la charge électrique à la surface d'un électrolyte. Journal de Physique, t. 9, p. 457, 1910.

KRUYT (H. R.). — Colloid Science. Elsevier. New-York, 1952.

OVERBEEK (J. Th.). — The Donnan equilibrium. Progress in biophysics and biophysical chemistry, vol. 6, p. 57, 1956.

STERN (O.). — Zur theorie des elektrolytischen Doppelschicht. Z. für Elektrochemie, t. 30, p. 508, 1924.

VERWEY (E. J. W.), OVERBEEK (J. Th.). — Theory of the stability of lyophobic colloids. Elsevier. Amsterdam, 1948.

ESSAI DE BILAN DE LA PRODUCTION D'AZOTE MINÉRAL D'UN SOL EN PLACE

PAR

G. LEFÈVRE et G. HIROUX

Station d'Agronomie, Amiens.

PLAN DU MÉMOIRE

Introduction.
Considérations générales.
Résultats.
Résumé et conclusions.
Références bibliographiques.

INTRODUCTION

Si l'on peut estimer, en première approximation, qu'un entretien raisonné des réserves phospho-potassiques, amenées à un niveau convenable de richesse, est capable, par l'intermédiaire des mécanismes régulateurs du sol, d'assurer une alimentation capable de répondre à chaque instant aux besoins du développement végétal, on ne peut par contre rien affirmer en ce qui concerne la nutrition azotée. Avant l'emploi des engrais minéraux, la production végétale suivait obligatoirement le rythme de libération d'azote fournie par l'activité microbienne, et les mouvements de l'eau dans le sol. Les possibilités offertes par les engrais azotés ont permis, entre autres choses, de sélectionner des variétés dont les exigences qualitatives et quantitatives seraient maintenant difficilement satisfaites par les transformations naturelles du sol. Par ailleurs, on a pu développer des cultures et des moyens d'exploitation ayant pour conséquence soit une augmentation relative de la production de fumier (culture intensive d'herbes, résidus végétaux plus importants), soit des substitutions à cette forme d'entretien organique (engrais verts, enfouissement de paille, ley-farming...). L'entretien azoté d'un sol constitue donc un sujet

qui s'est transformé mais qui ne peut encore être séparé de l'évolution des réserves organiques.

A cette opinion s'oppose parfois le raisonnement suivant qui séduit par la rigueur de sa conclusion. « On recommande aux agriculteurs de maintenir leur sol en équilibre humique, c'est-à-dire de prendre les mesures nécessaires pour que l'humus du sol se retrouve dans le même état à chaque retour d'une même phase de la rotation. Dans ces conditions le sol ne peut fournir de l'azote que dans la mesure où il en reçoit de l'agriculteur et des organismes fixateurs d'azote .» Ce raisonnement peut être traduit de la façon suivante : « Supposons le problème de l'entretien organique résolu. Il suffit alors d'apporter au sol l'azote qu'il perd .» A cela on peut objecter que le problème est précisément d'utiliser au mieux l'azote minéral en vue de favoriser le rendement d'une culture donnée tout en permettant d'entretenir économiquement les réserves organiques du sol. Dans l'établissement d'un plan d'exploitation, la succession des cultures et la fumure doivent être choisies pour diminuer au maximum les pertes par drainage qui peuvent être importantes, par exemple, en fin d'été en sol nu. L'entretien des réserves humiques peut ainsi représenter, suivant les cas, une économie d'azote minéral ou au contraire une consommation excessive d'engrais destiné uniquement à faire de la matière organique.

L'étude de la minéralisation de l'azote organique en place reste seule capable de fournir les éléments indispensables à la rationalisation des fumures azotées minérales. Elle est cependant insuffisante en elle-même pour répondre entièrement aux objectifs que nous avons donnés précédemment aux fumures minérales. Elle s'intègre dans un ensemble que nous pourrions schématiser de la façon suivante :

1° Recherche des besoins absolus de la plante.

Cela représente l'étude quantitative et spatiale de l'absorption de l'azote par les espèces et variétés végétales. Cette recherche a été poursuivie empiriquement au champ depuis le début des travaux agronomiques. En se plaçant dans les conditions climatiques moyennes des diverses regions naturelles, elle pourrait trouver des réponses plus précises grâce aux cases de végétation (COLLIER). Le point de vue quantitatif peut être résolu en solutions coulantes (concentrations idéales aux divers moments physiologiques).

2° Mesure de la production d'azote minéral dans des sols, soumis aux mêmes conditions climatiques et représentant des types bien définis, tant par leur nature pédologique que par leur entretien organique. Ce travail permet non seulement de connaître la production quantitative d'un sol donné mais également de suivre les mouvements de l'azote minéral, fourni ou apporté, et d'en mesurer les pertes.

3° Recherche de la fumure minérale pouvant compléter la produc-

tion naturelle afin de faire face aux besoins mesurés dans la première partie. Les mouvements étudiés dans la deuxième partie peuvent servir à définir le moment idéal de fumure.

Ce programme ne manquera pas de paraître chimérique tant dans sa conception que dans sa réalisation. Il représente en fait la synthèse des buts d'une expérimentation chaque année plus nombreuse, mais à objectifs restreints. Tous les essais de fumure azotée minérale sont difficiles à interpréter du fait de la mobilité des éléments apportés et de la méconnaissance des réactions propres du sol. Combien de champs et combien d'années ont été consacrés à l'étude de l'action comparée de fumures azotées d'hiver ou de printemps pour céréales? Plus récemment les nombreux essais portant sur la répartition dans le temps des fumures à fournir aux différentes cultures ou sur leur localisation dans le sol auraient une signification beaucoup plus grande s'ils étaient complétés par les mesures définies précédemment.

Toute cette expérimentation donne actuellement des résultats variables, parce qu'entièrement sous la dépendance des conditions climatiques. Il s'agit, en fait, d'observations de grande valeur, utilisables dans la mesure où on peut les rattacher à un type d'exploitation donné et à un cycle climatique déterminé. Les résultats ne valent que pour les variétés utilisées dans les essais.

Les essais ne résolvent pas le problème de l'entretien organique, qui peut être grossièrement ramené à celui de l'azote organique. On revient ainsi à renverser le sophisme énoncé en commençant : « Si l'on fournit au sol l'azote (minéral et organique) qu'il perd (exportation, drainages, dénitrification) l'équilibre humique sera assuré.» Connaissant les parts respectives fournies par le sol et par les engrais, l'équilibre humique revient à fournir au sol les quantités de matières organiques susceptibles de fournir aux moments homologues d'une rotation et dans les mêmes conditions des quantités identiques d'azote minéral.

On redoute d'aborder ce problème par l'étude de la minéralisation en place et par celle des mouvements de l'azote minéral parce que cela, représente une tâche considérable, dont il est en fait plus facile que pour une expérimentation à objectif mal défini, de dénoncer les limites.

Les observations recueillies jusqu'à ce jour ont été faites en sol nu. Les résultats ainsi obtenus ne donnent donc actuellement qu'une approximation, de grande valeur, mais une approximation que des travaux ultérieurs ou déjà commencés permettront d'utiliser entièrement. Ces travaux connexes sont en eux-mêmes très importants et font l'objet d'études séparées. Nous en résumerons quelques-uns :

1. — Influence de la végétation sur les mouvements de l'eau du sol.

2. — Influence de la culture sur la minéralisation, question groupant tout ce qui touche à la Rhizosphère.

3. — Influence des engrais minéraux sur la minéralisation.

En replaçant ainsi l'étude de la minéralisation de l'azote organique dans son cadre, il apparaît qu'un grand nombre des recherches nécessaires à son utilisation totale ont déjà fait l'objet de travaux dont on pourrait rapprocher les résultats. Nous écartant de ces perspectives nous voudrions seulement dans ce mémoire étudier les données fournies par la mesure des variations de la teneur en azote minéral du sol en place et voir comment les essais de minéralisation à l'étuve en permettent l'interprétation.

PREMIÈRE PARTIE

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

L'azote minéral, allant de la forme ammoniacale à la forme nitrique, est considéré comme constituant l'état sous lequel l'azote peut être assimilé par les végétaux. Il correspondrait en quelque sorte au vocable de soluble appliqué aux autres éléments minéraux. Si l'on tentait de poursuivre la comparaison, avec la potasse par exemple, l'azote minéralisable devrait correspondre aux formes échangeables fixées sur l'argile. Mais cette mise en parallèle, très factice d'ailleurs, ne peut être continuée, car la réserve azotée organique assure le renouvellement de l'azote minéralisable d'une façon qui ne rappelle en rien le mécanisme reliant les formes difficilement échangeables ou les minéraux potassiques à la potasse échangeable. Les agents d'évolution sont différents et le cycle azoté, pour sa part, est presqu'entièrement régi par des phénomènes biologiques. C'est d'ailleurs une difficulté supplémentaire qui peut masquer complètement l'intérêt de la mesure au champ de l'azote minéral. Aussi est-il nécessaire de poser les données de cette étude en analysant les éléments qui la composent.

Dans la minéralisation de l'azote, on peut envisager successivement les points suivants :

1° le matériel à décomposer,

2° l'agent de la décomposition,

3° le milieu :

physique,

chimique,

climatique, dans lequel s'opère cette décomposition.

1. — Le matériel à décomposer est très complexe. On peut admettre, suivant les données de la chimie biologique, que les formes susceptibles de fournir en fin de chaîne de l'azote minéral doivent être les formes organiques azotées les plus simples, c'est-à-dire les acides aminés. D'après la définition précédente ceux-ci devraient même constituer l'azote minéra-

lisable, avec cette différence toutefois qu'ils peuvent représenter une masse beaucoup plus importante que la quantité d'azote minéral qui est effectivement libérée en un mois d'étuve. Des recherches ont déjà permis d'isoler du sol un certain nombre d'acides aminés, mais ces recherches se sont surtout attachées à voir la signification de leur répartition qualitative. De plus ces acides aminés ne représentent qu'une forme transitoire en équilibre avec l'azote ammoniacal et la masse des protéines plus ou moins complexes. En définitive le matériel à décomposer reste constitué par l'ensemble des réserves organiques azotées dont une évaluation globale est fournie par la mesure de l'azote total.

En poursuivant l'analyse de cette matière azotée en équilibre avec des produits hydrocarbonés, il est vraisemblable qu'on progresserait dans l'étude du dynamisme de l'entretien organique, mais cette voie n'a fourni jusqu'à présent que peu de renseignements.

Les travaux sur la matière organique du sol ne font que confirmer que cette dernière est en perpétuelle évolution et que, pour le sujet qui nous occupe, on est, pratiquement, obligé de la considérer dans son sens le plus vague. Cette constatation est grave, car elle montre que nous n'avons pas beaucoup de moyens pour savoir si l'on peut, en fait, comparer entre elles les matières organiques de sols différents. Sur le plan général on se rattache aux notions suivantes : mesure de carbone total, mesure d'azote total, ou même à des données plus vagues telles que sols ayant un même passé cultural. Devant cette imprécision, on a tendance à inverser le problème et à évaluer l'état de la matière organique par la façon dont elle se décompose, en mesurant un produit de sa dégradation, soit l'azote minéral, soit le gaz carbonique. Il faut donc reconnaître qu'on a relativement peu de données précises sur le matériel de départ. Cette constatation conduit cependant à souligner que, dans des conditions déterminées, la mesure d'azote minéral peut représenter au champ, comme au laboratoire, un moyen permettant d'évaluer l'état d'une matière organique.

2. — Le rôle d'agent de décomposition est attribué généralement à la vie microbienne du sol. La nitrification a fait l'objet de travaux dont la rigueur démonstrative peut être citée en exemple (WINOGRADSKY). La phase préliminaire, l'ammonification, s'appliquant à des produits beaucoup plus variés, peut être réalisée par une plus grande variété de microorganismes. De nombreux mécanismes d'action ont été présentés, tant en aérobiose qu'en anaérobiose. Cette dégradation étant beaucoup plus multiforme, les conditions idéales de son action ne peuvent être décrites d'une manière aussi précise que pour la nitrification. Aussi il peut être utile de faire remarquer que les conditions actuellement utilisées pour faire les essais de minéralisation à l'étude représentent des conditions favorables à la nitrification (prise dans son sens restreint) et qu'elles ne coïncident pas forcément avec celles qui favorisent une bonne ammoni-

fication. On peut seulement dire que l'ammoniaque représente un déchet du métabolisme des ammonificateurs et qu'en favorisant sa transformation dans le milieu on permet à ces agents microbiens de poursuivre leur action.

D'autres mécanismes de minéralisation ont été avancés par certains auteurs (DHAR, ROSSI). Ils auraient pour cause une réaction photochimique que WAKSMAN n'a pu reproduire au laboratoire. Cependant certaines des observations relevées par l'un d'entre nous avec DROUINEAU et Mme BLANC-AICARD, en milieu sec et à des températures de 40 à 50°, ne semblent pas devoir résulter d'actions microbiennes, à moins d'envisager la décomposition des protéines de leurs cellules.

De plus lorsque les observations sont faites sur le terrain, il ne faut pas oublier que certaines concentrations d'azote minéral peuvent ne pas être produites in situ mais résulter de mouvements ascendants ou descendants de l'eau du sol. Cette action complique l'établissement du bilan azoté d'une couche déterminée de sol.

3. — Les travaux de microbiologie pure ont permis de connaître certains mécanismes d'action des micro-organismes. Ils se déroulent dans des conditions déterminées de milieu qui, dans certains cas, peuvent en modifier la signification. Mais ils ont l'avantage de mesurer précisément l'influence des facteurs physiques ou chimiques sur certaines phases de l'action microbienne. En suivant l'évolution d'un des produits finaux du métabolisme, azote ou gaz carbonique, on ne peut évaluer que l'action globale des facteurs du milieu qui se montrent, ainsi, favorables ou défavorables à la manifestation finale du phénomène. Il est donc du plus haut intérêt de compléter les observations globales par les données fournies par la microbiologie, afin de confronter les résultats obtenus par les deux méthodes. Nous en signalerons un exemple dans l'accumulation des nitrites en sol calcaire, accumulation qui a pu être attribuée à un pH dont la valeur ne pouvait être suffisamment abaissée par l'acidification de la première phase ammoniaque-nitrite, pour permettre l'action de la deuxième phase nitrite-nitrate. Ce cas, relativement simple, se complique lorsqu'on remonte la chaîne, puisque par combinaison d'actions de ce genre le matériel se trouve, dès le départ, modifié par les conditions de milieu.

Dans cet ensemble, la mesure de l'azote minéral et l'étude de la minéralisation à l'étuve représentent des estimations grossières que nous ne considèrerons que comme un outil de travail. C'est cependant un outil de grande valeur car il reste en quelque sorte le seul utilisable pour attaquer en bloc l'évolution de la matière organique en place. Gardant à l'esprit ce caractère, nous ne pourrons oublier que les mesures qu'il fournit peuvent et doivent être confrontées avec les résultats d'autres travaux de recherches.

4. — Il semble au premier abord que le bilan général de la minéralisation de l'azote en place ne puisse vraiment être réalisé qu'en cases lysimétriques. Ces cases en effet permettent seules d'évaluer réellement un des éléments du bilan ; les pertes par drainage. Mais, par ailleurs, s'il arrivait que les chutes de pluie soient distribuées de façon telle qu'il n'y ait pas de percolation, on serait amené à en conclure qu'il ne s'est pas formé d'azote minéral. Les observations lysimétriques doivent donc être complétées par des dosages d'échantillons de sol prélevés dans les cases. Ceci n'est guère réalisable dans les dispositifs actuellement employés car les prises d'échantillons sur toute la profondeur du profil modifieraient sensiblement le drainage et conduiraient plus ou moins rapidement à l'épuisement du matériel. Cette difficulté pourrait peut être, être tournée en utilisant un grand nombre des appareils décrits par W. H. MAC INTIRE... Cela fournirait un dispositif dont les divers éléments pourraient être utilisés au fur et à mesure des besoins. Cette installation permettrait également d'envisager plus facilement des comparaisons entre des cases nues et des cases cultivées.

L'équipement de nos stations en cases lysimétriques ne permet donc pas actuellement une étude aussi complète. Ramené au champ, l'examen des richesses en azote minéral est obligatoirement cantonné à des parcelles conservées nues. L'intensité relativement faible de l'exploitation radiculaire et sa localisation variable dans le temps rendent en effet impossible un échantillonnage convenable de prélèvements de sols cultivés. Même si on pouvait le concevoir, les mesures seraient encore probablement faussées, au cours de l'extraction, par des produits de l'hydrolyse d'éléments de la rhizosphère (ceci pourrait d'ailleurs être l'objet d'un travail spécial). Limitées actuellement aux sols nus, les mesures d'azote minéral en place varient avec la date du prélèvement ou plus exactement avec les données climatiques qui l'ont précédé. Ce caractère très important n'enlève cependant pas toute valeur à un ensemble de mesures effectuées à un moment donné, lorsqu'on compare par exemple l'effet de divers traitements organiques sur des parcelles soumises aux mêmes facteurs climatiques. Cela situe d'ailleurs les deux objectifs principaux de ces mesures :

1° Repérer par un sondage l'effet de traitements azotés organiques ou minéraux. L'époque du prélèvement peut alors être presque quelconque, mais elle se rattachera le plus souvent à certains états physiologiques des cultures qui reçoivent habituellement ces traitements. L'effet mesuré est alors partiel, car rien ne permet de savoir si la date du prélèvement correspond à une manifestation importante du phénomène que l'on cherche à mesurer.

2° Suivre sur une parcelle, traitée ou non, l'évolution de la richesse minérale azotée du sol.

La limite des observations répondant au premier objectif conduit

en fait à ne pas les séparer des études du deuxième type. C'est en cela d'ailleurs que ces recherches paraissent assez lourdes pour un laboratoire. Dans la pratique elles peuvent cependant se simplifier à la longue, en tenant compte des faits suivants :

a) Les mesures réalisées depuis près de dix ans, dans des conditions climatiques différentes, permettent de conclure que l'influence des traitements se fait sentir sur l'amplitude des variations (mensuelles par exemple) mais n'en modifie pas le sens. Le cas le plus typique peut en être donné par l'effet des enfouissements de paille. Ce fait fondamental permet précisément de mesurer l'effet de traitements organiques.

b) Dans ces conditions, si l'on ne recherche que le sens d'évolution de la libération de l'azote minéral, ou encore les époques, pour des conditions climatiques données, de son accumulation, on peut en quelque sorte faire abstraction de son passé organique. Par contre, certaines conditions du milieu étant en jeu, il y a intérêt à suivre cette évolution dans des types de sols par ailleurs bien déterminés. Cette comparaison rentrera dans un programme complet d'investigation.

c) La poursuite, pendant plusieurs années, de l'étude des variations des teneurs du sol en azote minéral doit permettre, dans le cadre soit de *a* soit de *b*, d'analyser les résultats en fonction des variations des données climatiques. Cela dans le but de définir des corrélations permettant en quelque sorte de déduire les réactions du sol en fonction de données climatiques facilement repérables (pluie, température...).

Ces études se trouvent ainsi liées aux types climatiques qui ont à ce point de vue des caractéristiques plus ou moins nettes. Lorsque ces types sont bien définis on peut obtenir, dans les cas les plus favorables, une corrélation significative entre des mesures de laboratoire et l'accumulation effective de l'azote minéral en cours d'année (cas par exemple de la relation entre l'azote minéralisable, pris au mois de mars, départ du cycle biologique, et la teneur maximum d'azote minéral relevé au cours de l'année, sous climat méditerranéen). Pour que ce pronostic se vérifie il faut évidemment que le type climatique ne se différencie pas, au cours d'années anormales, des conditions notées pendant les années qui ont servi aux observations.

Dans le cas de climat non défini, il devient nécessaire de poursuivre les observations pendant un nombre d'années encore plus élevé, afin de pouvoir étudier dans le détail l'influence de certains facteurs jouant sur une période déterminée (par exemple influence d'un ensemble température, répartition des pluies, au cours de mois successifs). Cette étude plus difficile devient également plus générale et devrait permettre plus aisément d'extrapoler les résultats.

Cependant, il reste encore une difficulté dans ce problème de la production d'azote minéral. La mesure en place de la teneur en azote miné-

ral représente, au moment de la prise de l'échantillon, la résultante entre la formation et les pertes de cet élément. Elle ne mesure que dans certains cas la production réelle du sol. Or cet aspect de la production est un des plus importants, tant pour connaître la quantité totale mise à la disposition des plantes que pour évaluer l'usure réelle des réserves du sol. Ce sujet ne pourrait être complètement traité, comme nous le disions plus haut, que par les cases lysimétriques à condition, avons-nous vu, de les sacrifier au cours des mesures. Mais ce caractère, faisant d'une teneur un bilan entre la formation et les pertes, s'applique également à l'azote minéralisable.

La conjonction ou la confrontation de ces deux variations, plus ou moins indépendantes, permettent de déduire par observation ou par raisonnement, des informations sur l'évolution de l'azote total. Pour cela il est nécessaire de revenir sur la définition de l'azote minéralisable.

On appelle azote minéralisable la quantité d'azote minéral représentant la différence entre la teneur d'un échantillon de sol en place et celle du même échantillon après un certain temps d'évolution dans des conditions définies de température et d'humidité. Dans nos essais c'est la quantité minéralisée, en un mois d'étuve à 27°, d'un échantillon de sol dilué de moitié avec du sable siliceux et amené à 60 p. 100 de sa capacité de rétention au champ.

Ces conditions d'essais sont conventionnelles, comme nous l'avons déjà vu, car il est pratiquement impossible de trouver un milieu favorisant toutes les phases de la minéralisation. Il est évident que si la minéralisation dans son ensemble était à l'optimum sans intervention possible d'autres associations de conditions de milieu on aboutirait, pour les sols en place, comme on l'observe précisément à l'étuve, à des variantes de courbes de minéralisation prolongées sur plusieurs mois et à un épuisement rapide de la faculté de produire de l'azote minéral.

Le passage à l'étuve constitue donc un « test » permettant d'évaluer à un moment donné les aptitudes du sol à fournir dans des conditions définies de l'azote minéral.

C'est parce que les conditions externes de ce test sont toujours les mêmes qu'il constitue effectivement un reflet des modifications que la matière organique peut subir dans le sol en place. Les variations d'azote minéralisable permettent ainsi d'appuyer ou de corriger les déductions que l'on pourrait tirer des seules variations de la teneur en azote minéral. Il est aussi valable de raisonner sur des variations d'azote minéralisable que de faire un bilan sur une variation de potasse assimilable par exemple. Bien que ces mesures ne reconstituent intégralement pas les mécanismes exacts de libération des éléments en place, on peut les considérer comme un moyen de repère qui, utilisé dans des conditions uniformes, permet de déduire d'une variation de sa valeur, une évolution de l'élément dosé.

Supposons en effet que sur une série de parcelles ne représentant qu'un traitement, on prélève tous les mois un échantillon.

Pour le prélèvement du mois 1, la teneur du sol en azote minéral est, par exemple, m_1 (exprimé généralement en mg pour 100 g). Après un passage d'un mois à l'étuve dans les conditions fixées précédemment, la richesse du sol devient T_1 ; l'azote minéralisable par définition est $T_1 - m_1 = M_1$.

Pour le prélèvement du mois suivant, 2, la teneur en azote minéral est m_2 ; après le passage à l'étuve on obtient une valeur T_2 ; l'azote minéralisable au mois 2 est $T_2 - m_2 = M_2$.

Si les conditions à l'étuve étaient optima pour la minéralisation on devrait toujours avoir :

$$m_2 \leqslant T_1 \qquad \text{et} \qquad M_2 < M_1$$

et si les phénomènes de régénération de l'azote minéralisable — que nous appellerons de préminéralisation — n'intervenaient pas au champ, on devrait avoir également :

$$m_2 - m_1 = M_1 - M_2 \qquad \text{(c'est-à-dire } T_2 = T_1\text{)}$$

L'expérience montre qu'il n'en est pas ainsi et qu'il existe, au champ, toutes les possibilités de variations de ces trois données (azote minéral avant étuve, azote minéral après étuve, azote minéralisable). Les variations d'un mois à l'autre de la teneur en azote minéral peuvent être interprétées de la façon suivante :

si $m_2 > m_1$ il y a : soit minéralisation au champ,
soit remontée ou descente dans l'horizon prélevé, d'azote minéral formé ailleurs ;

si $m_2 = m_1$ il n'y a pas de minéralisation,
ou bien il y a :
production d'azote minéral et sortie d'une quantité équivalente ;

si $m_2 < m_1$ il y a : sortie, par lessivage ou remontée, d'azote minéral de l'horizon dans lequel on a prélevé,
ou bien :
une partie de l'azote minéral a été transformé en azote organique (réorganisation).

Les variations absolues de ces valeurs ne peuvent être considérées, dans leur interprétation, que comme des variations minima.

La mesure de l'azote minéralisable permet de compléter cette interprétation. En effet :

si $M_2 < M_1$ de l'azote minéralisable de l'échantillon a été perdu soit par minéralisation (sans préminéralisation correspondante) soit par lessivage (en pratique, pour les réserves du sol, cela revient au même qu'une minéralisation et un lessivage de l'azote minéral formé) ;

si $M_2 = M_1$ il ne se passe rien,

TABLEAU 1. — *Tableau clef d'interprétation des variations mensuelles d'azote minéral avant étuve Δm, d'azote minéral après passage à l'étuve ΔT, et d'azote minéralisable $\Delta M = \Delta T - \Delta m$.*

$\Delta M < o$ ΔM = quantité minimum d'azote minéralisé	$\Delta T < o$ lessivage ΔT = quantité minimum lessivée	$\Delta m < o$	ΔM = quantité minimum d'azote minéralisé. ΔT = quantité minimum d'azote minéral sorti de l'horizon où a été pris l'échantillon.
		$\Delta m = o$	$\lvert\Delta M\rvert = \lvert\Delta T\rvert$ la quantité d'azote minéral lessivé reste équivalente à la quantité ΔM d'azote minéral formé pendant la même période.
		$\Delta m > o$	$\lvert\Delta m\rvert < \lvert\Delta M\rvert$ ΔM = quantité minimum minéralisée ΔT = lessivage minimum.
	$\Delta T = o$.	$\Delta m < o$	impossible
		$\Delta m = o$	impossible
		$\Delta m > o$	pas de lessivage. La quantité ΔM minéralisée se retrouve dans le sol sous forme Δm.
	$\Delta T > o$	$\Delta m < o$	impossible
		$\Delta m = o$	impossible
		$\Delta m > o$	$\lvert\Delta m\rvert > \lvert\Delta M\rvert$ Δm = augmentation effective de la teneur du sol en azote minéral. ΔT = quantité d'azote devenue minéralisable en même temps que la quantité Δm a été minéralisée (préminéralisation). *ou bien* ΔM = quantité d'azote minéralisé $\Delta m - \lvert\Delta M\rvert$ = quantité d'azote minéral provenant d'une source autre que la minéralisation en place (azote minéral ajouté, azote lessivé ou remonté).
$\Delta M = o$	$\Delta T < o$	$\lvert\Delta m\rvert = \lvert\Delta T\rvert$	= quantité d'azote minéral lessivé.
	$\Delta T = o$	$\Delta m = o$	Il ne se passe apparemment rien.
	$\Delta T > o$	$\lvert\Delta m\rvert = \lvert\Delta T\rvert$	Δm = quantité d'azote minéral produit aux dépens du minéralisable. ΔT = quantité d'azote préminéralisé (égale à la précédente). *ou bien* Δm = azote minéral provenant d'une source autre que la minéralisation en place.
$\Delta M > o$	$\Delta T < o$	$\Delta m < o$	Δm = N minéral sorti du niveau analysé. ΔM = quantité de N minéral devenue minéralisable (réorganisation). ΔT = lessivage minimum.
		$\Delta m = o$	impossible
		$\Delta m > o$	impossible
	$\Delta T = o$	$\Delta m < o$	$\lvert\Delta m\rvert = \lvert\Delta M\rvert$ la quantité Δm d'azote minéral est transformée en azote minéralisable (réorganisation).
		$\Delta m = o$	impossible
		$\Delta m > o$	impossible
	$\Delta T > o$	$\Delta m < o$	$\lvert\Delta m\rvert < \lvert\Delta M\rvert$ Δm = azote minéral transformé en minéralisable (réorganisation). ΔT = azote organique devenu minéralisable (préminéralisation).
		$\Delta m = o$	$\lvert\Delta M\rvert = \lvert\Delta T\rvert$ = quantité d'azote organique devenu minéralisable (préminéralisation).
		$\Delta m > o$	Δm = quantité d'azote minéralisée avec ΔT = quantité totale d'azote organique devenue minéralisable (préminéralisation). *ou bien* Δm = quantité d'azote minéral provenant d'une autre source.

ou bien
il y a une minéralisation compensée par une préminéralisation de même valeur ;

si $M_2 > M_1$ préminéralisation (évolution de la matière organique vers des formes pouvant fournir à l'étuve de l'azote minéral) ;
réorganisation (évolution de l'azote minéral vers des formes organiques).

La juxtaposition de ces tableaux permet d'éliminer des incompatibilités. Les variations de l'azote minéral total obtenu après le séjour à l'étuve permettent d'obtenir le tableau final (tableau I) dans lequel nous exprimerons les variations sous les signes conventionnels Δm, ΔM, ΔT. Le point de départ en est la variation ($\Delta M = M_2 - M_1$) de la teneur en azote minéralisable.

Il reste encore quelques cas où on pourrait hésiter entre deux interprétations. Cette indétermination est en fait factice car la confrontation avec les données météorologiques élimine, dans la plupart des cas, une des possibilités.

Il est à remarquer, dans ce tableau clef, que les productions d'azote minéral ne sont pas forcément déterminées par les variations des teneurs des échantillons en azote minéral. De même la production d'azote minéralisable n'est pas uniquement indiquée par les variations des teneurs en azote minéralisable.

Ces observations permettent de réaliser un bilan minimum des données suivantes :

a) azote minéral lessivé ou sorti du niveau où a été pris l'échantillon,

b) azote minéralisé,

c) azote devenu minéralisable, c'est-à-dire évolution des réserves d'azote total.

Deuxième partie

RÉSULTATS

Dans cette deuxième partie, nous illustrerons les résultats théoriques donnés par le tableau d'interprétation des variations d'azote minéral et minéralisable que nous venons de présenter. Pour cela nous prendrons comme exemple les chiffres obtenus dans les parcelles témoins (sans fumure organique, ni minérale) d'un champ d'essai destiné, par ses autres parcelles, à fournir des éléments permettant de voir l'influence de traitements organiques et minéraux. De cet essai, commencé en 1955, nous utiliserons les chiffres obtenus au cours de l'année 1956. Les parcelles témoins sont au nombre de 4 et les chiffres indiqués dans le tableau II représentent la moyenne de ces quatre parcelles. Sachant par avance

que sous le climat de la Somme les variations apparentes des teneurs en azote minéral étaient faibles, il a paru utile de différencier la couche arable (0-30) en trois niveaux (0-10-10-20-20-30). Les prélèvements mensuels de ce seul témoin représentent donc 12 échantillons, et après passage à l'étuve 24 dosages d'azote minéral.

La couche 0-30 avait au départ la composition suivante :

p. 1000 *de terre séchée à l'air*

Cailloux	120

p. 1000 *de terre fine*

Argile	290
Limon	140
Sable fin	496
Sable grossier	27
Matières organiques	42,5
Calcaire	7
Azote	1,90
Acide phosphorique (oxalate)	0,20
Potasse échangeable	0,27
pH	7,27

Au 1er janvier 1956 la moyenne pour les 4 parcelles de la teneur en N total était pour les 3 horizons :

0 — 10	1,89
10 — 20	1,93
20 — 30	1,90

Moyenne générale : 1,90

Le tableau II donne les teneurs en azote minéral avant étuve(m), après étuve (T), et minéralisable (M), des différents horizons, suivant la date de prélèvement. Ces teneurs sont exprimées en mg d'azote minéral pour 100 g de sol sec (10 ppm). Comme elles s'appliquent à des couches de 10 cm de sol nous évaluerons, pour simplifier, à 1 000 tonnes le poids de terre de ces couches et dans ces conditions 1 mg /100 g équivaut à 10 kg/ha.

Partant de ce tableau nous avons calculé et reproduit dans le tableau III les différences mensuelles des trois valeurs analysées (m. T. M.).

La figure 1 groupe les données climatiques simples de l'année ; d'une part les températures minima et maxima diurnes en °C et d'autre part les chutes de pluies en mm.

Ces éléments réunis, nous pouvons utiliser les renseignements fournis par le tableau I. Par exemple :

Entre le 12 mars et le 12 janvier :

Pour le niveau 0-10 nous avons :

$$\Delta m = -0{,}2 \qquad \Delta T = -0{,}1 \qquad \Delta M = +0{,}1.$$

L'interprétation d'après le tableau est :

Δm = quantité de N minéral sorti du niveau analysé + 0,2.

ΔM = quantité de N minéral devenu minéralisable (réorganisation) 0,1.

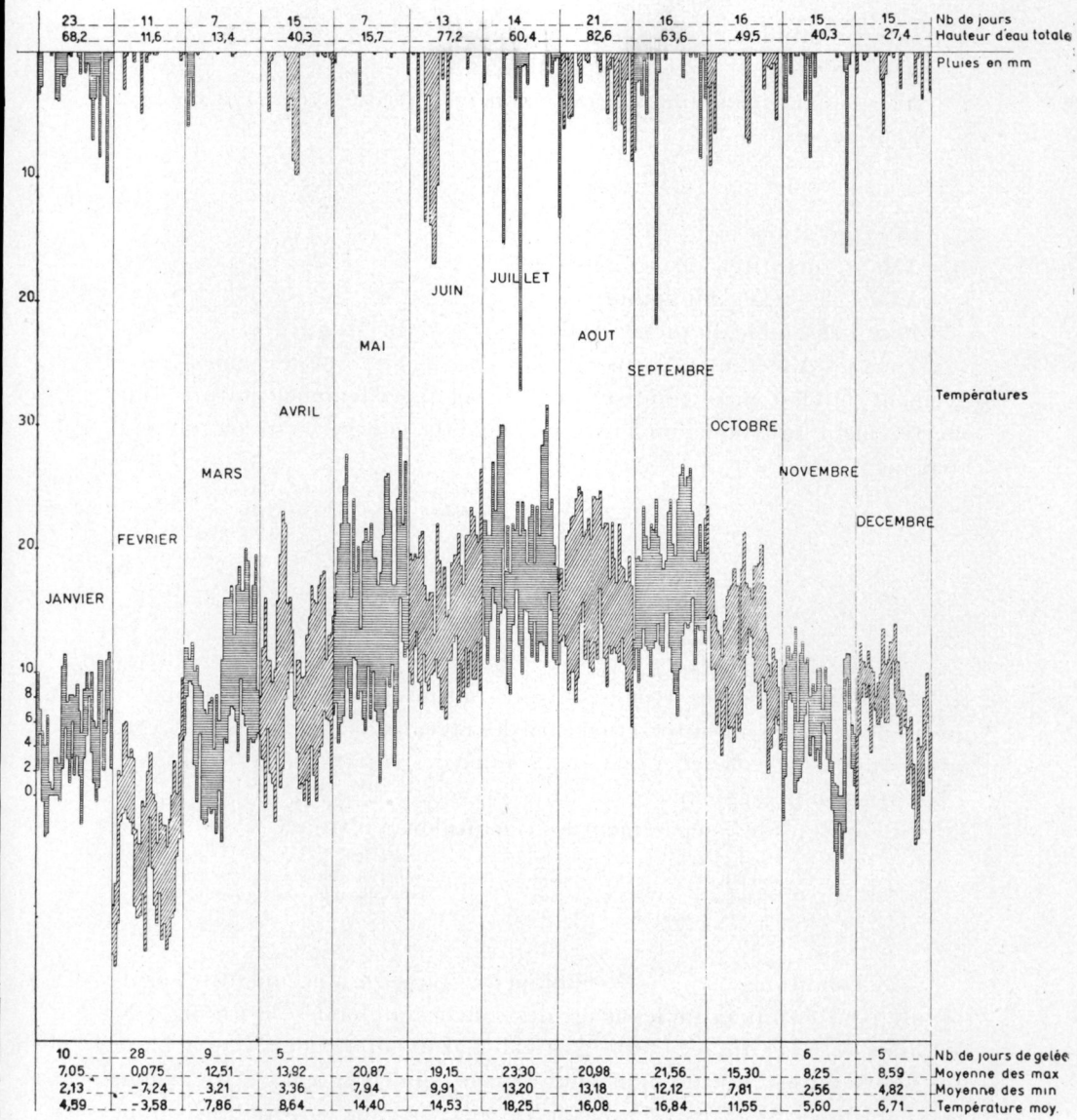
ΔT = quantité de N lessivé 0,1.

TABLEAU II. — *Teneurs en Azote minéral avant étuve* m, *après étuve* T, *et minéralisable* M, *d'échantillons de sols de parcelles témoins suivant la date de prélèvement — en mg/100 g de sol sec.*

Date de prélèvement	12,1 m	T	M	12,3 m	T	M	9,4 m	T	M	11,5 m	T	M	11,6 m	T	M	10,7 m	T	M	9,8 m	T	M	13,9 m	T	M	12,10 m	T	M	14,11 m	T	M	10,12 m	T	M	15,1 m	T	M
0 — 10 m	2,2			2,0			3,2			4,9			4,1			4,9			3,4			3,8			1,2			2,8			−0,3			0,8		
T		5,6			5,5			6,0			9,8			10,1			8,0			4,4			4,7			4,4			9,2			3,9			3,4	
M			3,4			3,5			2,8			4,9			6,0			3,1			1,0			0,9			3,2			6,4			4,2			2,6
10 — 20 m	3,1			2,3			4,2			4,9			4,2			5,5			4,0			2,5			2,6			3,3			3,0			2,4		
T		7,1			4,2			5,0			7,2			7,2			6,8			6,8			5,7			6,9			5,8			3,7			5,8	
M			4,0			1,9			0,8			2,3			3,0			1,3			2,8			3,2			4,3			2,5			0,7			3,4
20 — 30 m	3,2			3,4			1,6			3,8			3,7			4,1			5,8			5,1			4,9			3,8			3,5			2,9		
T		8,6			7,6			6,0			6,5			7,4			8,3			7,7			4,1			4,7			5,8			6,4			4,2	
M			5,4			4,2			4,4			2,7			3,7			4,2			1,9			−1,0			−0,2			2,0			2,9			1,3
0 — 30 m	8,5			7,7			9,0			13,6			12,0			14,5			13,2			11,4			8,7			9,9			6,2			6,1		
T		21,3			17,3			17,0			23,5			24,7			23,1			18,9			14,5			16,0			20,8			14,0			13,4	
M			12,8			9,6			8,0			9,9			12,7			8,6			5,7			3,1			7,3			10,9			7,8			7,3

TABLEAU III. — *Différences mensuelles observées entre les teneurs en azote minéral avant étuve* (Δm), *après étuve* (ΔT) *et minéralisable* (ΔM) *en mg/100 g de sol sec.*

	3 — 1	4 — 3	5 — 4	6 — 5	7 — 6	8 — 7	9 — 8	10 — 9	11 — 10	12 — 11	1 — 12
0 — 10 Δm.	−0,2	1,2	1,7	−0,8	0,8	−1,5	0,4	−2,6	1,6	−3,1	1,1
ΔT.	−0,1	0,5	3,8	0,3	−2,1	−3,6	0,3	−0,3	4,8	−5,3	−0,5
ΔM.	0,1	−0,7	2,1	1,1	−2,9	−2,1	−0,1	2,3	3,2	−2,2	−1,6
10 — 20 Δm.	−0,8	1,9	0,7	−0,7	1,3	−1,5	−1,5	0,1	0,7	−0,3	−0,6
ΔT.	−2,9	0,8	2,2	0,0	−0,4	0,0	−1,1	1,2	−1,1	−2,1	2,1
ΔM.	−2,1	−1,1	1,5	0,7	−1,7	1,5	0,4	1,1	−1,8	−1,8	2,7
20 — 30 Δm.	0,2	−1,8	2,2	−0,1	0,4	1,7	−0,7	−0,2	−1,1	−0,3	−0,6
ΔT.	−1,0	−1,6	0,5	0,9	0,9	−0,6	−3,6	0,6	1,1	0,6	−2,2
ΔM.	−1,2	0,2	−1,7	1,0	0,5	−2,3	−2,9	0,8	2,2	0,9	−1,6
0 — 30 Δm.	−0,8	1,3	4,6	−1,6	2,5	−1,3	−1,8	−2,7	1,2	−3,7	−0,1
ΔT.	−4,0	−0,3	6,5	1,2	−1,6	−4,2	−4,4	1,5	4,8	−6,8	−0,6
ΔM.	−3,2	−1,6	1,9	2,8	−4,1	−2,9	−2,6	4,2	3,6	−3,1	−0,5



	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE	
Nb de jours	23	11	7	15	7	13	14	21	16	16	15	15	
Hauteur d'eau totale	68,2	11,6	13,4	40,3	15,7	77,2	60,4	82,6	63,6	49,5	40,3	27,4	
Nb de jours de gelée	10	28	9	5							6	5	
Moyenne des max	7,05	0,075	12,51	13,92	20,87	19,15	23,30	20,98	21,56	15,30	8,25	8,59	
Moyenne des min	2,13	-7,24	3,21	3,36	7,94	9,91	13,20	13,18	12,12	7,81	2,56	4,82	
Température moy.	4,59	-3,58	7,86	8,64	14,40	14,53	18,25	16,08	16,84	11,55	5,60	6,71	

GRAPHIQUE I. — Pluies et températures 1956.

Pour 10-20 les données sont :

$$\Delta m = -0{,}8 \qquad \Delta T = -2{,}9 \qquad \Delta M = -2{,}1.$$

Interprétation :
ΔM = quantité d'azote minéralisé, 2,1.
ΔT = quantité minimum d'azote minéral sorti du niveau analysé, 2,9.
Pour 20-30.

$$\Delta m = +0{,}2 \qquad \Delta T = -1 \qquad \Delta M = -1{,}2.$$

Interprétation :
ΔM = quantité d'azote minéralisé, 1.2.
ΔT = lessivage minimum, 1.
Pour l'ensemble du profil :

Tous les ΔT étant négatifs on peut en conclure que les pluies, relativement faibles, mais tombant sur un sol précédemment saturé, ont effectivement provoqué un lessivage. Pour la couche 0-30 on obtient finalement

	Azote minéral lessivé.	Azote minéralisé.	Azote minéral réorganisé.
	—	—	—
0 — 10	0,2	0	0,1
10 — 20	2,9	2,1	—
20 — 30	1,0	1,2	—
	—	—	—
00 — 30	4,1	3,3	0,1

Les écarts observés le mois suivant sont intéressants car ils donnent précisément lieu à une interaction entre les niveaux de prélèvements. Cette interaction est à rechercher quand la somme des variations n'est pas égale à la variation de la somme.

Si l'on considère séparément les échantillons on trouve :

0 — 10	Azote minéralisé..1,2	Azote organique devenu minéralisable (préminéralisé)..0,5
10 — 20	Azote minéralisé..1,9	Azote organique devenu minéralisable (préminéralisé)..0,8
20 — 30	Azote sorti de l'échantillon..1,8	
	Azote réorganisé 0,2	

Les conditions climatiques indiquent : pluie, 5 mm, quantité insuffisante pour entraîner un lessivage des couches profondes de 1,8 mg d'N. Il faisait au contraire sec et une partie de l'azote a pu migrer vers le haut. En reprenant les chiffres, on ne doit alors attribuer (suivant la deuxième possibilité décrite dans le tableau I), aux niveaux supérieurs comme azote minéralisé, que la quantité d'azote minéralisable effectivement perdue. Le reste de l'augmentation d'azote minéral est fourni par de l'azote remonté du niveau inférieur.

soit :

0–10	Azote minéralisé....	0,7	Azote en provenance d'une autre couche....		0,5
10–20	» »	1,1	–id–		0,8
20–30	» lessivé.....	0,3	Azote réorganisé		0,2

Le mois suivant n'offre aucune difficulté. La température monte, les pluies sont faibles. Il y a préminéralisation et minéralisation pour tous les niveaux :

0–10	Azote minéralisé		1,7	Azote préminéralisé		3,8
10–20	»	»	0,7	»	»	2,2
20–30	»	»	2,2	»	»	0,5
			4,6			6,5

Et ainsi de suite.

Les résultats pour l'ensemble de l'année sont groupés dans le tableau IV.

TABLEAU IV

Dynamique de l'Azote minéral et minéralisable au cours de l'année 1956 *dans un niveau de sol* 0,30.

Mois	Niveau	Azote lessivé ou sorti du niveau analysé			Azote minéralisé			Azote en provenance d'un autre niveau			Azote minéral réorganisé au cours du lessivage			Azote organique devenu minéralisable (préminéralisé)		
3,–1	0 — 10....	0,2			—			—			0,1			—		
	10 — 20..		2,9			2,1			—			—			—	
	20 — 30			1,0			1,2			—			—			—
4,–3	0 — 10....	—			0,7			0,5			—			—		
	10 — 20..		—			1,1			0,8			—			—	
	20 — 30			1,8			—			—			0,2			—
5,–4	0 — 10....	—			1,7			—			—			3,8		
	10 — 20..		—			0,7			—			—			2,2	
	20 — 30			—			2,2			—			—			0,5
6,–5	0 — 10....	0,8			—			—			0,8			0,3		
	10 — 20..		0,7			—			—			0,7			—	
	20 — 30			0,1			—			—			0,1			0,9
7,–6	0 — 10....	2,1			2,9			—			—			—		
	10 — 20..		0,4			1,7			—			—			—	
	20 — 30			—			—			0,4			0,5			—
8,–7	0 — 10....	3,6			2,1			—			—			—		
	10 — 20..		1,5			—			—			1,5			—	
	20 — 30			0,6			2,3			—			—			—
9,–8	0 — 10....	—			0,1			0,3			—			—		
	10 — 20..		1,5			—			—			0,4			—	
	20 — 30			3,6			2,9			—			—			—
10,–9	0 — 10....	2,6			—			—			2,3			—		
	10 — 20..		—			—			0,1			—			1,1	
	20 — 30			0,2			—			—			0,2			0,6
11,–10	0 — 10....	—			0,5			1,1			—			3,7		
	10 — 20..		1,1			1,8			—			—			—	
	20 — 30			1,1			—			—			1,1			1,1
12,–11	0 — 10....	5,3			2,2			—			—			—		
	10 — 20..		2,1			1,8			—			—			—	
	20 — 30			0,3			—			—			0,3			0,6
1,–12	0 — 10....	0,5			1,6			—			—			—		
	10 — 20..		0,6			—			—			0,6			2,1	
	20 — 30			2,2			1,6			—			—			—
Total annuel		15,1	10,8	10,9	11,8	9,2	10,2	1,9	0,9	0,4	3,2	3,2	2,4	7,8	5,4	3,7
Total 0 — 30		36,8			31,2			3,2			8,8			16,9		

Tous les éléments chiffrés fournis par les tableaux des pages précédentes sont figurés dans les graphiques suivants pour en faciliter la lecture.

Le graphique n° II indique par son trait médian, plein, les variations au cours de l'année, de la teneur de l'horizon 0-30 en azote minéral. Ce trait est encadré par une courbe supérieure représentant la production cumulée, de mois en mois, de l'azote minéral pour l'ensemble du profil et par une courbe inférieure totalisant de la même façon les lessivages mensuels. Les trois séries de trois courbes en traits plus fins représentent les mêmes données pour les couches séparées 0-10, 10-20, 20-30.

Le graphique n° 3 schématise pour chacun des niveaux et pour l'ensemble du profil, d'une part la production mensuelle d'azote minéral, avec en pointillé, la récupération d'azote des niveaux adjacents ou la migration de l'azote, précédemment formé, entre les niveaux, d'autre part l'azote minéral lessivé et en troisième lieu l'azote préminéralisé dans lequel figure, également en pointillé, l'azote minéral récupéré au cours des lessivages.

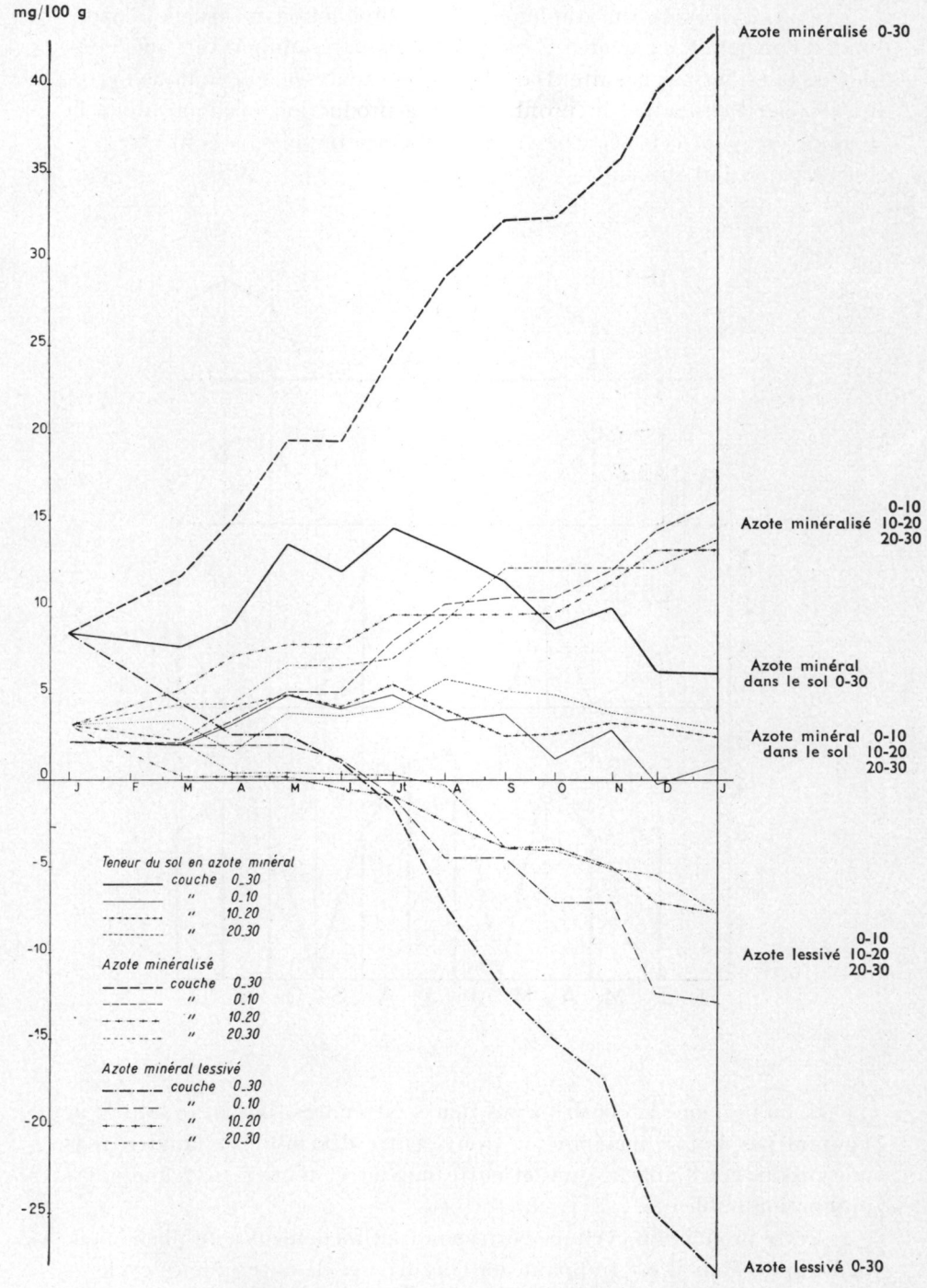
Cet ensemble de tableaux et de figures nous permet de faire ressortir les points suivants :

1. — Les variations, au cours des mois, de la teneur de l'ensemble du profil en azote minéral, ne sont pas considérables (trait plein médian du graphique II). Elles oscillent entre un minimum de 6,1 mg/100 g et un maximum de 14,5 mg/100 g. Différence absolue : 8,4 mg soit, suivant nos données, 84 kg/ha. Mais on voit par les courbes cumulées, supérieure et inférieure de ce graphique, qu'elles représentent pour chaque mois un bilan qui annuellement correspond en 1956 à un gain (production d'azote minéral) de 31,2 mg/100 g (312 kg/ha) et à des pertes de 36,8mg/100 g (368 kg/ha).

Le bilan s'établit bien ainsi :

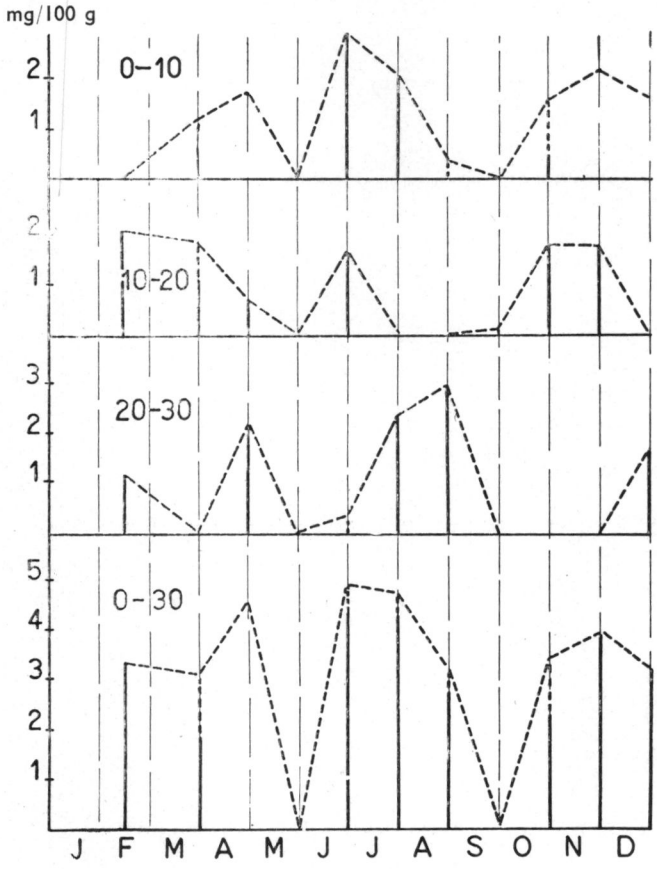
	mg/100g.	
	+	—
teneur en azote minéral du sol au 12 Janvier 1956 ..	8,5	
azote minéralisé au cours de l'année	31,2	
azote lessivé — azote échangé entre les couches 36,8 — 3,2 = 33,6		33,6
teneur en azote minéral du sol au 15 Janvier 1957 ..	6,1	

2. — La courbe d'azote minéral montre, pour l'année considérée, deux maxima, l'un en avril-mai, l'autre en juin-juillet. Les productions mensuelles d'azote minéral (courbes centrales 0-30 du graphique III) présentent elles aussi des maxima à ces mêmes époques mais elles indiquent également que le maximum d'accumulation aurait dû exister en septembre si les mois d'août et de septembre n'avaient pas correspondu à des lessivages importants. Ceci confirme que la mesure d'azote minéral, seule, en période permettant un entraînement en profondeur, ne donne pas d'indications sur la quantité d'azote minéral mise à la disposition des plantes.



GRAPHIQUE II. — Variation de la teneur du sol en azote minéral.
en tant que bilan de sa production et de ses pertes cumulées.

3. — La courbe du graphique III de production mensuelle d'azote minéral mettrait en évidence un phénomène très important que nous devrons vérifier par la suite. Dans la période analysée, elle indique nettement pour l'ensemble du profil 0-30 une production cyclique, dont la période est, pour cette courbe, de 3 mois. Cette impression peut être renforcée par le fait suivant :



GRAPHIQUE III. — Azote minéral formé.

Si on prolonge la courbe, à ses deux extrémités, par des chiffres ne figurant pas dans le mémoire, on trouve entre décembre et janvier 1955 une production faible 0,3 mg et entre janvier et février 1957 une autre production faible 0,9.

Cette production cyclique correspondrait facilement à un phénomène biologique. Mais il est frappant, en l'occurrence de noter que ce cycle — invisible sur les courbes de teneurs mensuelles — paraît presque indépendant des conditions climatiques.

Pour Mars-Avril-Mai on relève une production globale de..	3,3	+	1,8	+	4,6 =	9,7 mg/100g.
Juillet-Août-Septembre.....	4,6	+	4,4	+	3,0 =	12,0
Octobre-Novembre-Décembre.....	2,3	+	4,0	+	3,2 =	9,5

La quantité totale produite au cours de la période chaude est un peu plus importante mais elle reste voisine de 100 kg/ha comme celles produites en début ou en fin de saison.

La période de non production est précédée ou suivie d'une période de préminéralisation.

Ces faits, s'ils se vérifient, au cours des années, représenteraient un point capital dont la manifestation pourrait être caractéristique du climat du nord de la France.

4. — La production d'azote minéral, pour l'ensemble de l'année, varie assez peu avec le niveau de la couche prélevée. En reprenant les chiffres figurant au bas du tableau IV on trouve en effet :

0–10	Azote minéralisé	11,8 mg/100 g.	soit 118 kgs/hectare
10–20	Azote minéralisé	9,2 mg/100 g.	soit 92 kgs/hectare
20–30	Azote minéralisé	10,2 mg/100 g.	soit 102 kgs/hectare

Par contre la régénération des réserves d'azote minéralisable est nettement influencée et diminue avec la profondeur.

	Azote minéral réorganisé au cours du lessivage		Azote organique devenu minéralisable		
0–10	3,2	+	7,8	=	11,0
10–20	3,2	+	5,4	=	8,6
20–30	2,4	+	3,7	=	6,1

Les conditions d'efficacité des microorganismes réalisant ces deux phases de la minéralisation paraissent donc ne pas être les mêmes. Cette observation montre que le labour, en dehors d'autres caractères de son action, en mélangeant les différentes couches du sol, permet une meilleure utilisation des réserves azotées superficielles, tout en permettant au cours de l'année, un certain stockage des réserves profondes.

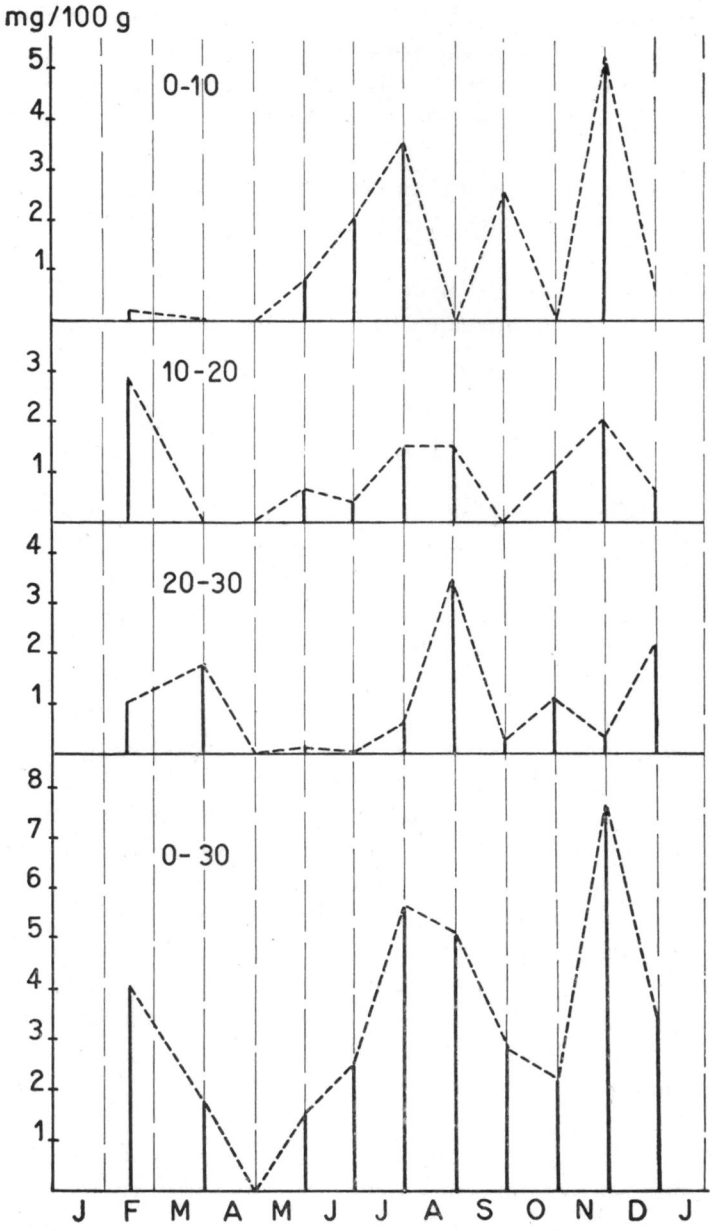
5. — Reconsidérant le bilan présenté plus haut, on peut être frappé de la valeur des chiffres. Suivant les données classiques il semble anormal qu'un sol dosant en moyenne 1,9 p. 1 000 d'azote pour la couche 0-30 minéralise au cours de l'année 312 kg d'azote (soit 312/5 700 = 5,47 p.100).

Pour faire accepter ces chiffres on peut présenter les remarques suivantes :

a) Les pertes d'azote minéral subies par le sol sont inférieures à la production ; elles s'établissent en effet de la façon suivante :

	+	—
Azote sorti des différents niveaux.....	36,8	
Azote retrouvé dans un autre niveau		3,2
Azote réorganisé en cours du lessivage		8,8
		12,0
	24,8	

Ces pertes représentent donc 248/5 700 = 4,35 p. 100.
Ceci permet de chiffrer un caractère très important de l'économie



GRAPHIQUE IV. — Azote lessivé.

de l'azote dans le sol. La différence dans le cas considéré entre la production — c'est-à-dire la quantité d'azote mise à la disposition des cultures —

et la quantité d'azote perdu pour le sol (même en l'absence de culture), est de 312 — 248 = 64 kg/ha.

b) L'évolution des réserves azotées, c'est-à-dire la quantité d'azote organique devenu minéralisable, au cours de l'année, ne s'élève qu'à 169 kg, c'est-à-dire (169/5 700 = 2,97 p. 100 des réserves).

Le bilan de l'azote minéralisable s'établit en effet ainsi :

	mg/100 g.	
	+	—
Teneur en azote minéralisable du sol au 12-1-1956	12,8	
Azote organique devenu minéralisable.....	16,9	
Azote minéral réorganisé au cours des lessivages	8,8	
	38,5	
Azote minéralisé.....		31,2
Teneur du sol en azote minéralisable au 15-1-1956	7,3	

La dynamique totale de l'azote peut se résumer comme suit : pour une production effective d'azote minéral de :

312 kg soit 5,47 p. 100 des réserves organiques.

Les pertes s'élèvent à :

248 kg soit 4,35 p. 100 des réserves organiques.

Pendant que l'usure des réserves organiques est de :

169 kg soit 2,97 p. 100 des réserves organiques,

et que l'azote minéral réorganisé ramène au niveau des pertes l'évolution de l'azote minéralisable : 169 + 88 = 257 kg.

En ce qui concerne la consommation du stock organique, il faut donc prendre comme valeur le chiffre d'azote organique devenu minéralisable, soit 169 kg/ha (2,97 p. 100).

c) On peut être amené à convertir cette consommation d'azote en consommation de matières organiques. Partant d'un rapport Matières organiques sur Azote de 20 on obtient une destruction annuelle de 169 × 20 ≠ 3 400 kg de matières organiques.

Ces chiffres ne sont cependant pas en contradiction formelle avec les observations pratiques. Si l'on considère par exemple une rotation Betteraves, Blé, Pommes de terre, Blé, recevant une fumure au fumier de ferme de 40 tonnes à l'hectare on peut suivant les chiffres présentés par KOHNLEIN et VETTER, pour évaluer les résidus de récoltes, établir la balance suivante :

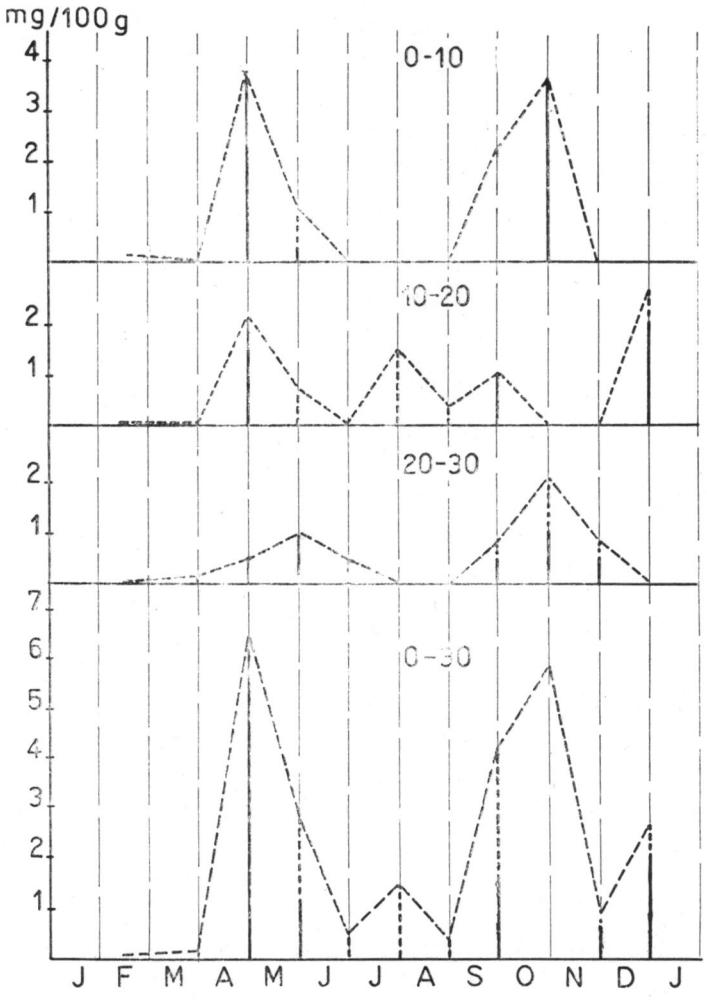
Fumier 40 tonnnes à 25 % de M.S.....	10 T.
Betteraves : résidus radiculaires	0,6
Blé : racines et chaumes.....	1,2
Pommes de terre.....	0,3
Blé	1,2
Soit un apport total de.....	13,3 T.

pour une consommation minimum (nos chiffres s'appliquant à des parcelles sans fumier) de 3 400 × 4 = 13,6 t.

Ceci concorde avec le fait qu'un bon entretien correspond à un fumier

tous les 4 ans en l'absence de tout autre apport externe de matières organiques.

Nous n'insisterons pas ici sur cet aspect de la question qui sera repris ultérieurement.



GRAPHIQUE V. — Azote préminéralisé.

6. — Les résultats présentés sur la minéralisation de l'azote en place, permettent déjà d'envisager, bien qu'encore d'une façon vague, le comportement des cultures.

En prenant les chiffres de l'année que nous avons analysée, on peut, par exemple, chercher à calculer la quantité d'azote minéral mise à la disposition d'une culture de betteraves.

Nous estimerons que la betterave bénéficie, soit directement, soit

par suite des entraînements, de tout l'azote minéralisé dans la couche 0-10 depuis la période avril-mai jusqu'en octobre. Nous prendrons également l'azote minéralisé dans la couche 10-20 de la période mai-juin à octobre et enfin celui de la couche 20-30 de juin-juillet à octobre.

La quantité d'azote minéral mise ainsi par les réserves du sol à la disposition d'une culture de betterave sera suivant les chiffres du tableau IV:

Couche 0–10	Avril-Octobre	7,1 mg/100 g.
Couche 10–20	Mai-Octobre	1,7 mg/100 g.
Couche 20–30	Juin-Octobre.....	5,6 mg/100 g.
		14,4 = 144 kgs/ha

Dans une autre expérience faite, cette même année 1956, sur betteraves, les parcelles témoins, sans apport extérieur d'azote minéral mais bénéficiant d'un enfouissement de culture dérobée de Trèfle Ladino, ont exporté pour une production de 54 tonnes de betteraves et 39 tonnes de Verts, 97 kg d'Azote dans les feuilles et 70 kg d'Azote dans les racines, soit au total 167 kg/ha.

Ces deux chiffres ne sont pas discordants.

Toutes ces constatations, fournies par l'interprétation des variations simultanées de l'azote minéralisable, semblent devoir nous permettre de préciser certains aspects de la libération et de l'utilisation de l'azote minéral. Montrant en particulier la différence existant entre la quantité d'azote minéral produite au cours d'une année et la quantité de ce même azote effectivement perdue pour les réserves du sol, elles expliquent l'écart relevé entre les quantités d'azote, prélevées par des cultures en l'absence d'apports minéraux extérieurs et les pertes intervenant dans un bilan général de matières organiques. Nous analyserons prochainement l'influence d'apports organiques sur ces différentes grandeurs.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Après quelques considérations générales destinées à indiquer la place et le rôle des mesures de l'azote minéral au champ, nous avons présenté une méthode permettant d'interpréter les résultats fournis par ces données complétées par des essais de minéralisation à l'étuve.

Dans la seconde partie du mémoire une application de cette méthode a été présentée en utilisant les observations relevées sur une couche de 30 cm de sol analysée de 10 cm en 10 cm. Les résultats ainsi recueillis ont permis un certain nombre de conclusions qui, bien que pouvant heurter certaines données classiques, s'accordent avec les résultats pratiques. Elles devront être encore soumises à des contrôles prolongés. Les principales sont les suivantes :

a) Possibilité d'une production cyclique de l'azote minéral sous le climat du nord de la France.

b) Minéralisation portant sur un pourcentage de l'azote total nettement plus élevé que celui admis généralement et présentant un net décalage avec la destruction effective du stock de matières organiques.

Ces observations permettront vraisemblablement une meilleure interprétation des essais azotés de plein champ. L'influence de traitements organiques sera analysée dans un mémoire ultérieur.

RÉSUMÉ

Essai de bilan de la production d'azote minéral d'un sol en place

Après quelques considérations générales destinées à indiquer la place et le rôle des mesures de l'azote minéral au champ les auteurs présentent une méthode permettant d'interpréter les résultats fournis par ces données, complétées par des essais de minéralisation à l'étuve.

Les auteurs exposent ensuite une application de cette méthode en utilisant les observations relevées sur une couche de 30 cm de sol analysée de 10 cm en 10 cm.

Les principales conclusions tirées de ce travail sont :

a) Possibilité d'une production cyclique de l'azote minéral sous le climat du nord de la France.

b) Minéralisation portant sur un pourcentage de l'azote total nettement plus élevé que celui admis généralement et présentant un net décalage avec la destruction effective du stock de matières organiques.

Ces observations permettront vraisemblablement une meilleure interprétation des essais azotés en plein champ.

SUMMARY

An experiment on the balance of mineral-nitrogen production in a field soil

The importance and role of measurements of mineral nitrogen in the field are discussed and a method for the interpretation of such results, complemented by incubation tests on mineralization, is presented. The application of the method is shown by observations made on a 30-cm layer of soil analysed at every 10-cm depth.

Results indicated :

a) a possible cyclical production of mineral nitrogen under climatic conditions in northern France ;

b) a much greater per cent mineralization of total nitrogen than generally assumed, showing a marked lag as the reserves of organic matter are being effectively destroyed.

The observations are likely to lead to a better interpretation of nitrogen experiments in the field.

ZUSAMMENFASSUNG

Bilanzversuch der Mineralstickstoffproduktion eines Bodens auf dem Felde

Nach einigen allgemeinen Betrachtungen über die Lage und den Zweck der Bestimmung des Mineralstickstoffes auf dem Felde, wird von den Autoren eine Methode vorgechlagen die erlaubt die, durch diese Mineralisierungsmessungen gewonnene Ergebnisse zu erläutern, Messungen die durch Mineralisierungsversuche im Trockenschrank ergänzt werden.

Die Autoren erklären dann eine Anwendung dieser Methode mit Hilfe der auf einer 30 cm dicken Bodenschicht gemachten Beobachtungen, Bodenschicht die jede 10 cm analysiert wurde.

Die wichtigsten Schlussfolgerungen, die aus dieser Arbeit gewonnen wurden, sind folgende :

a) Möglichkeit einer zyklischen Mineralstickstoffproduktion unter dem Klima von Nordfrankreich.

b) Mineralisierung eines Prozentsatzes des Gesamtstickstoffs der wesentlich grösser ist als der gewöhnlich anerkannte. Deutliche zeitliche Verschiebung der Mineralisierung mit dem reellen Abbau der organischen Masse.

Eine bessere Erklärung der Stickstoffdüngungsversuche auf dem Felde wird wahrscheinlich durch diese Beobachtungen gegeben werden.

РЕЗЮМЕ

Попытка установить билан выработки минерального азота почвы поля.

Ж. ЛЕФЭВР и Ж. ХИРУ.

После изложения некоторых общих соображений имеющих целью указать место и роль определений минерального азота в поле, авторы представляют метод позволяющий оценивать результаты этих данных, дополненных определением минерализации в сушильном шкафу.

Затем, авторы излагают приложение этого метода, пользуясь наблюдениями, сделанными на слое почвы в 30 см, изученном в отдельности для каждых 10 см.

Главные заключения этой работы таковы :

а. Возможность закономерного (циклического) производства минерального азота в условиях климата Севера Франции.

б. Минерализация затрагивает процент от общаго азота значительно больший, чем это обычно принято, и представляет ясное несогласование с действительным уменьшением запаса органического вещества.

Эти наблюдения позволят, возможно, лучше понимать опыты с азотом в полевых условиях.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) COLLIER (D.). — Evolution de l'azote minéral et minéralisable en sol nu de terre noire de Limagne. *Travaux des Stations agronomiques*, p. 35, 1956.

(2) DHAR. — *Proc. National Acad. Sci. of India*, **19**, 201, 1950.

(3) DROUINEAU (G.), LEFÈVRE (G.), Mme BLANC-AICARD. — Estimation de la richesse des sols en azote et aspects particuliers de ce problème dans la région méditerranéenne. *Inter. Soc. of Soil Sc. Dublin Transaction.*, vol. I, p. 13-21.

(4) DROUINEAU (G.), LEFÈVRE (G.), Mme BLANC-AICARD. — Observations sur la localisation de l'azote minéral en été sous le climat méditerranéen. *Ann. Agr.*, p. 245-256, 1953.

(5) DROUINEAU (G.), GOUNY (P.), LEFÈVRE (G.). — Sur la nitrification dans les sols calcaires. *C. R. Ac. Sc.*, p. 957-8, 1948.

(6) HALLAIRE (M.). — Diffusion capillaire de l'eau dans le sol et répartition de l'humidité en profondeur sous sols nus et cultivés. *Annales Agronomiques*, p. 143-243, 1953.

(7) HARMSEN (G. W.) et VAN SCHREVEN (D. A.). — Minéralization of organic Nitrogen in soil. *Advances in Agronomy*, vol. VII, p. 299-398, 1955.

(8) JOLIVET (E.). — Étude sur la minéralisation de l'azote organique en Bretagne. Travaux des Stations agronomiques. *Annales Agronomiques*, p. 720, 1955.

(9) KÖHNLEIN (J.) et VETTER (H.). — « Ernterückstande und Wurzelbild », 138 pp. Paul Farcy. Hamburg, Berlin.

(10) MACINTIRE (W. H.), YOUNG (J. B.), SHAW (W. M.), et ROBINSON (B.). — Nitrogen Recoveries from Applications of Ammonium Chloride, Phosphate, and Sulfate and Outgo of Complementary Ions in Rainwater Leachings through a Six-foot Soil -subsoil Columm. *Soil. Sci. Society of America Proc.*, vol. 16, p. 301-6, 1952.

(11) SIMONART (P.), et BUYSSE (R.). — Bactéries et Acides aminés libres dans le sol. Ve Congrès International de la Science du sol. Léopoldville, p. 136-9, 1954.

(12) VAN DEN HENDE (A.) et MATON (A.). — Considérations relatives à l'économie de l'azote dans les sols belges. VIe Congrès International de la Science du sol, vol. B, p. 499-504.

Mémoire remis le 10 octobre 1957.

INFLUENCE DES TYPES D'ARGILE DES SOLS ET DE LA PLUVIOSITÉ SUR LA NUTRITION POTASSIQUE DE LA POMME DE TERRE

PAR

P. J. J. FRANC DE FERRIÈRE

Société Commerciale des Potasses d'Alsace, Mulhouse

et

Th. CAMEZ et G. MILLOT

Laboratoire de Géologie, Strasbourg

I. — INTRODUCTION

C'est sous la forme d'ions K^+ que la plante absorbe dans le sol, à l'aide de ses radicelles et par l'intermédiaire de l'eau, la potasse indispensable à son développement.

Or, dans le sol, les ions K^+ se présentent en trois positions principales :

1° Ils se trouvent en couches continues plus ou moins profondément et très étroitement logées entre les feuillets constitutifs des microcristaux d'argiles micacées ; ils ne peuvent en sortir qu'aux extrémités entrebaillées des feuillets ; après leur départ leurs logements vides peuvent se trouver occupés à nouveau par des ions K^+ d'origine extérieure apportés par les fumures potassiques, ce qui amène la refermeture partielle des feuillets entrebaillés.

2° Ils se trouvent inclus beaucoup moins étroitement et en petit nombre dans les couches d'eau qui emplissent les fentes plus ou moins largement ouvertes des microscristaux d'argiles montmorillonitiques, où ils pénètrent facilement par échange avec des ions Ca^{++} et Mg^{++} beaucoup plus abondants.

3° Ils se trouvent retenus par simple adsorption physique à la surface externe des microcristaux des argiles chloritiques et kaolinitiques, du Quartz fin et des colloïdes humiques.

La pomme de terre est une des plantes de nos cultures dont les besoins en potasse sont les plus élevés, mais ses radicelles ont un pouvoir d'absorption assez limité vis-à-vis des ions K^+ plus ou moins fortement retenus par les argiles du sol. C'est pourquoi nous avons étudié, dans

les pages qui suivent, la nutrition potassique de cette plante en présence des différents types d'argiles contenues dans les sols de divers champs de démonstration de la Société Commerciale des Potasses d'Alsace.

Ces champs, rappelons-le, comportent 3 bandes longitudinales recevant 3 fumures potassiques différentes :

une bande K_0 : absence de fumure potassique,

une bande K_1 : fumure potassique moyenne,

une bande K_2 : fumure potassique forte.

Ces bandes comportent transversalement un certain nombre de soles recevant chaque année les différentes cultures d'un assolement normal, ce qui explique l'existence, chaque année et dans chaque champ, d'une culture de pomme de terre.

Les apports de fumier de ferme ont été interrompus à l'origine des essais dans tous les champs.

L'eau joue un rôle fondamental dans la nutrition potassique des plantes, d'abord comme véhicule des ions K^+ entre le sol et les radicelles, puis dans les phénomènes de libération et de fixation de ces ions par les microcristaux d'argile, eux-mêmes liés aux phénomènes d'hydratation et de dessiccation.

Aussi avons-nous tenté de rattacher graphiquement les rendements annuels successifs en pomme de terre des divers champs d'essais aux pluviosités cumulées des cinq mois avril-août pendant lesquels se développe la pomme de terre.

Nous avons donc fait figurer dans nos graphiques :

en ordonneés : les *rendements* en tubercules exprimés en tonnes/hectare,

en abscisses : les *pluviosités* en mm correspondant aux hauteurs de pluie cumulées de 5 mois d'avril à août.

Les millésimes des diverses années de récolte sont portés en abscisse en face des pluviosités correspondantes.

Les *pluviosités croissantes* ont été figurées par une *droite à 45°* qui permet la comparaison facile des variations annuelles des rendements en pomme de terre avec la croissance des pluies.

Les 3 courbes correspondant aux rendements annuels en pomme de terre recevant diverses fumures potassiques sont elles-mêmes représentées :

— en pointillé pour les rendements dans la bande K_0 sans engrais potassiques,

— en trait discontinu pour les rendements dans la bande K_1 avec dose potassique moyenne,

— en trait plein pour les rendements dans la bande K_2 avec dose potassique forte.

II. — DÉTERMINATION DES MINÉRAUX ARGILEUX DES SOLS ÉTUDIÉS

1° Extraction des argiles des sols.

La fraction la plus fine des sols appelée conventionnellement « argile » est formée par les particules inférieures à 2μ. Cette fraction, isolée mécaniquement, peut être très hétérogène au point de vue minéralogique. Parmi ses constituants minéralogiques principaux sont le Quartz et les minéraux argileux. Du fait de leurs propriétés d'adsorption et d'échange de bases les minéraux argileux sont particulièrement intéressants. Leur détermination a été faite par analyse aux rayons X sur des plaquettes orientées par sédimentation. Ceci a pour effet de souligner les raies de diffraction parallèles aux plans p des phyllites.

2° Le Quartz.

Dans la plupart des spectres de rayons X, la présence du Quartz est décelable grâce à ses raies caractéristiques à 4,26, — 3,35 et 2,28. Dans certains échantillons la proportion du Quartz, dans la fraction inférieure à 2μ, devient suffisante pour absorber une partie importante de l'intensité du rayonnement et rendre difficile la détermination de la fraction argileuse. Ceci est particulièrement net pour les prélèvements de La Harpe et Levet.

3° Les minéraux argileux.

Les minéraux argileux trouvés dans les sols étudiés sont les suivants :

A. **Montmorillonite**. — Ce minéral est formé par des feuillets silico-alumineux 2-1 de 10Å d'épaisseur. Ces feuillets sont diversement écartés les uns des autres selon la nature des cations interfoliaires et leur affinité pour l'eau. Le plus souvent la Montmorillonite est calcique : l'espacement basal varie de 14 à 15,5 Å et correspond approximativement à 2 couches d'eau orientée. La Montmorillonite est par conséquent un minéral argileux pauvre en potasse, mais peut fixer par échange les ions K^+ apportés sous forme d'engrais.

B. **L'argile de type Mica ou Illite**. — Les mêmes feuillets silico-alumineux 2-1 sont étroitement liés les uns aux autres par des ions potassiques K^+. Les microcristaux feuilletés d'argile de type mica sont capables de céder des ions K^+ le long de leur bordure, mais aussi de fixer les mêmes ions K^+, apportés par les engrais, dans les espaces interfoliaires voisins de leur bordure. Les raies principales sont 10-5 et 3,33 Å.

C. **La Chlorite** est encore une argile à feuillets silico-alumineux 2-1 de 10 Å d'épaisseur. Mais ces derniers sont ici reliés entre eux par une

couche à structure brucitique alumineuse ou magnésienne. Ceci porte à 14 Å l'espacement basal et donne une grande rigidité aux microcristaux. Ceux-ci ne contiennent pas d'ions K^+ et n'ont qu'un pouvoir réduit de fixation vis-à-vis des ions K^+ apportés par les engrais. Les raies principales sont 14-7-4,7 et 3,53.

D. **Les minéraux altérés et les minéraux interstratifiés.** — Sur les diagrammes de rayons X apparaissent fréquemment des ombres ou des raies intermédiaires entre 10 et 14 Å, donnant parfois des raies floues entre 11 et 13 Å. Ceci peut être dû à des Micas ou des Chlorites altérés dont l'espacement basal devient intermédiaire entre 10 et 14. Onparle alors de minéraux altérés ou ouverts. Ceci peut aussi être un effet d'interférence dû à l'alternance régulière de feuillets 10 à 14 à l'intérieur même des microcristaux : on parle alors de minéraux interstratifiés. La proportion de ces édifices mixtes n'est pas suffisamment grande dans nos échantillons pour que leur comportement vis-à-vis des ions K^+ nous apparaisse clairement.

E. **La Kaolinite** est un minéral argileux à feuillets silico-alumineux de type 1-1 qui aboutit à un espacement basal de 7 Å environ. Ce minéral ne contient pas d'ions K^+ et il est sans pouvoir de fixation interne vis-à-vis des cations potassiques. Les raies principales sont 7-3,57 et 2,36.

4° Appréciation des proportions.

Les proportions des différents minéraux argileux dans la fraction la plus fine des sols ont été appréciées par comparaison de l'intensité des raies de diffraction appartenant aux diverses espèces. Ce travail est fondé sur une longue expérience, par référence à des mélanges simples dont les proportions furent déterminées par d'autres méthodes. Ces appréciations sont toujours imparfaites et revisables. Elles ne peuvent avoir de valeur relative qu'avec le même appareillage, manipulé dans des conditions identiques. Elles ne peuvent être avancées qu'à 10 p. 100 près environ.

5° Résultats.

Les résultats de nos essais sont réunis dans le tableau suivant :

Lieu de Prélèvement	Montmorillonite	Mica	Interstratifiés	Chlorite	Kaolinite	Quartz
Ammerzoden	40 %	AF		f	f	f
La Malmare	20 %	50 %			AF	m
Lieusaint		80 %	f		f	m
Ablis		60 %	f	AF		F
Beaucouzé		60 %	f	AF	f	F
Lion d'Angers		50 %	f	50 %		f
Le Petit Bèle		AF	f	60 %		F
La Harpe		AF		60 %	f	TF
Levet		m			m	TF

Proportions : TF : très forte ; F : forte ; AF : assez forte ; m : moyenne ; f : faible.

Etudions maintenant les récoltes de pomme de terre dans les 9 champs figurant au tableau ci-dessus.

III. — CHAMP DE LIEUSAINT (SEINE-et-MARNE)

Le champ de Lieusaint est installé depuis 1931 sur un sol de limon des plateaux quaternaire reposant sur argile à meulière de Brie. Ce sol brun lessivé contient en surface environ 16 p. 100 d'argile constituée pour

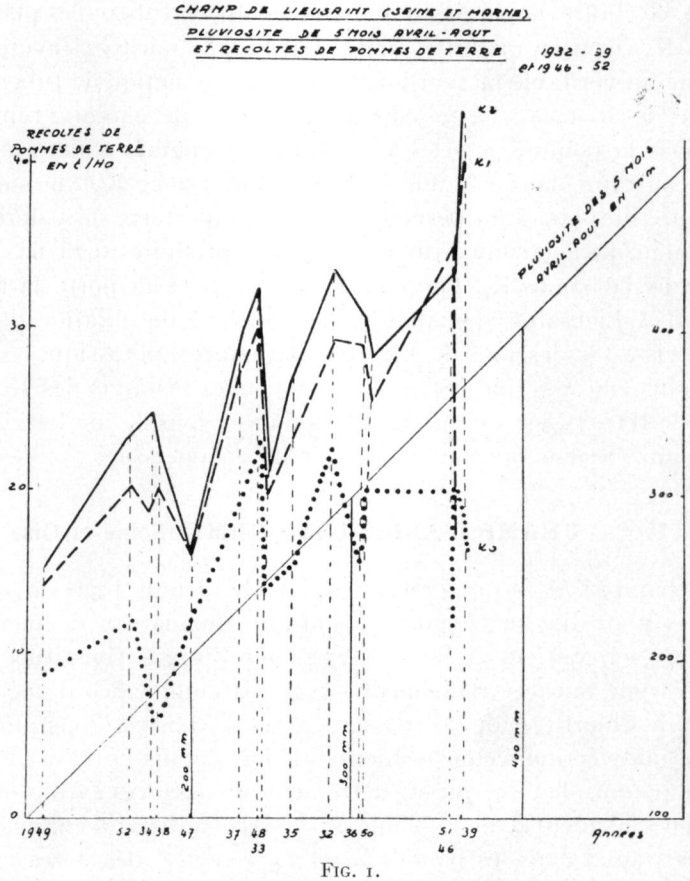


FIG. 1.

80 p. 100 d'argile micacée faiblement ouverte et pour 20 p. 100 d'un mélange de Kaolinite et de Quartz fin. C'est de tous les sols étudiés dans ce travail le plus riche en argile micacée.

A Lieusaint, les rendements en pomme de terre ont oscillé d'une année à l'autre autour des rendements moyens suivants :

Bande K_0 : sans engrais potassiques : 15 t/ha de tubercules.

Bandes K_1 : avec 150 kg/K_2O/ha : 24,5 t/ha de tubercules.

Bande K_2 : avec 250 kg/K_2O/ha : 27 t/ha de tubercules.

Même après environ 20 années de culture sans apport d'engrais potassiques ni de fumier, on n'a pas observé de baisse systématique des rendements en pomme de terre dans la bande K_0.

Le graphique des rendements en pomme de terre à Lieusaint en fonction des pluviosités cumulées des 5 mois avril-août f(ig. 1) présente, pour la courbe K_0 sans engrais potassiques, une augmentation des rendements en tubercules sensiblement parallèle à la droite des croissances des pluviosités pour les pluviosités les plus faibles, inférieures à 240 mm. Au-dessus de ce chiffre de pluviosité les rendements en tubercules plafonnent. Les ions K^+ cédés en quantité limitée par l'argile micacée s'avèrent donc ici comme un véritable facteur limitant de la production de tubercules au voisinage de 20 t/ha ; l'eau météorique au-delà de 240 mm tombe sans utilité pour la pomme de terre en l'absence d'engrais potassiques.

Au contraire, dans la bande K_1, l'apport de 150 kg/K_2O/ha sous forme de chlorure de potassium permet à la pomme de terre de valoriser sans limitation jusqu'à 366 mm d'eau de pluie pour produire 40,2 t/ha de tubercules. Dans la bande K_2, l'apport de 250 kg/K_2O/ha porte la récolte à 43,4 t/ha. A Lieusaint, du fait du pouvoir élevé de fixation de l'argile micacée vis-à-vis des ions K^+, les fortes fumures potassiques s'avèrent comme plus efficaces que les fumures moyennes vis-à-vis des récoltes de pomme de terre. C'est qu'un certain besoin en ions K^+ de l'argile du sol s'ajoute aux besoins normaux de la plante en potasse.

IV. — CHAMP D'ABLIS-LONG ORME (Seine-et-Oise)

Le champ d'Ablis-Long Orme est installé depuis 1936 sur un sol de limon des plateaux quaternaire en bordure du plateau de meulière de Beauce. Ce sol contient en surface 17 p. 100 d'argile constituée pour 60 p. 100 d'argile micacée faiblement ouverte accompagnée d'une certaine quantité de Chlorite et de Quartz fin. Le sol d'Ablis est donc moins riche en argile micacée que celui de Lieusaint. Or, depuis l'origine, les rendements en pomme de terre ont été nettement moins élevés à Ablis qu'à Lieusaint, non seulement dans la bande K_0 ne recevant pas d'engrais potassiques, mais aussi dans les bandes K_1 et K_2 recevant des doses moyennes et fortes d'engrais potassiques.

Les rendements moyens en pomme de terre à Ablis ont été les suivants :

Bande K_0 : sans fumure potassique : 7,4t /ha de tubercules.

Bande K_1 : avec 150/kg/K_2O/ha : 16,0 t/ha de tubercules.

Bande K_2 : avec 250 kg/K_2O/ha : 18,5 t/ha de tubercules.

Comme à Lieusaint, on observe des variations importantes des rendements en tubercules d'une année à l'autre, mais pas de baisse systématique des rendements dans la bande K_0 sans engrais potassiques, où les récoltes oscillent assez faiblement autour de 7,4 t/ha.

Le graphique des rendements en pomme de terre à Ablis en fonction des pluviosités observées durant la période d'après-guerre (1949-1954) (fig. 2) montre en K_0 une augmentation des rendements en fonction des pluviosités croissantes plus atténuée qu'à Lieusaint, mais une augmentation des rendements en K_1 et K_2 presque parallèle à la croissance des pluviosités jusqu'à 300 mm de pluie. Les pluviosités exagérées

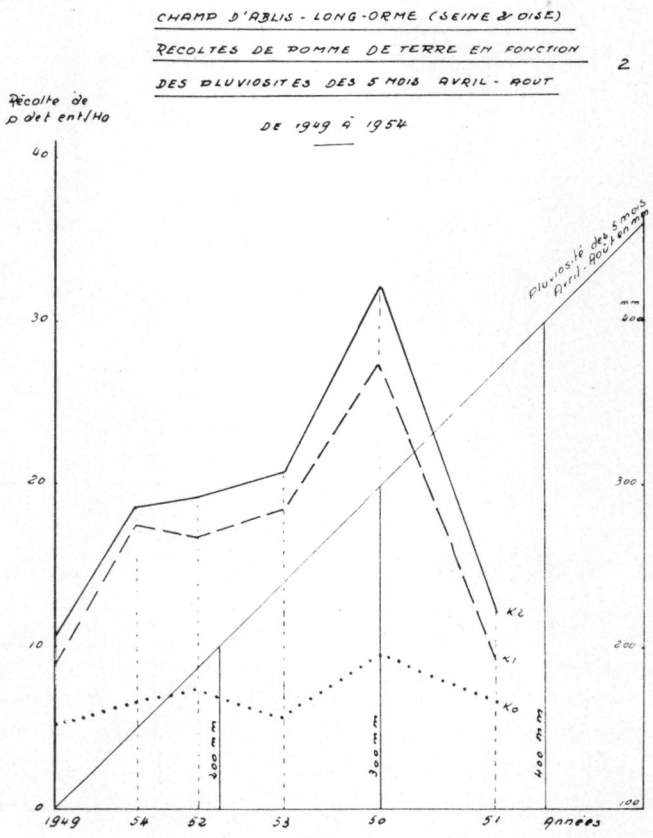


FIG. 2.

de 1951 ont provoqué des attaques de mildiou qui ont amené l'effondrement des rendements. L'action plus favorable des fortes fumures potassiques est très sensible à Ablis avec 60 p. 100 d'argile micacée.

V. — CHAMP DE BEAUCOUZÉ (Maine-et-Loire)

Ce champ établi en 1945 sur schistes du Lion d'Angers présente un sol assez grossier riche en débris de schiste et contenant seulement 61 p. 100 de terre fine. Celle-ci contient 12 p. 100 d'argile formée pour 60 p. 100 d'argile micacée faiblement ouverte accompagnée de Chlorite et Quartz

fin. Les rendements moyens en pomme de terre à Beaucouzé de 1945 à 1955 ont été les suivants :

Bande K_0 : sans engrais potassiques : 8,1 t/ha de tubercules.

Bande K_1 : avec 150 kg/K_2O/ha : 18,9 t/ha de tubercules.

Bande K_2 : avec 200 kg/K_2O/ha : 22,2 t/ha de tubercules.

Dans ce sol assez bien pourvu en argile micacée, on n'a pas observé

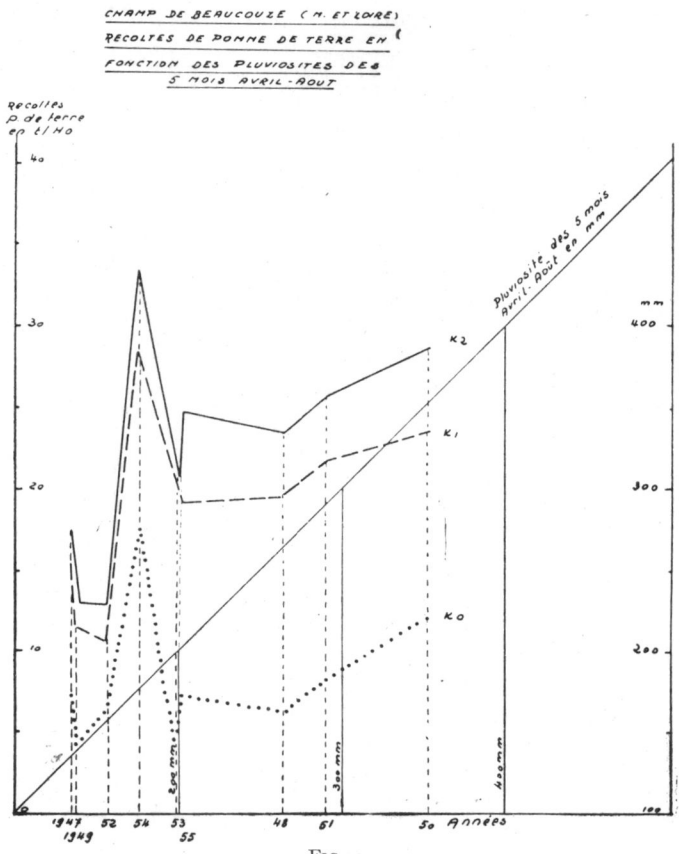


FIG. 3.

de baisse systématique des rendements en pomme de terre dans la bande K_0 sans engrais potassiques durant les 10 années d'essais.

Les rendements en K_2 ont régulièrement dépassé les rendements en K_1. Le graphique des rendements en pomme de terre à Beaucouzé en fonction des pluviosités des 5 mois (fig. 3) présente 3 courbes K_0, K_1 et K_2 régulièrement croissantes avec les pluviosités et sensiblement parallèles.

L'année 1954 se distingue par des rendements anormalement élevés en K_0, K_1 et K_2, fait attribuable à la plantation des pommes de terre sur une défriche de luzerne ayant occupé le sol pendant 6 ans. La nutrition de la plante s'en est trouvée grandement améliorée.

VI. — CHAMP DU LION D'ANGERS (Maine-et-Loire)

Ce champ établi en 1931, sur schistes du Lion d'Angers comportait un sol moins riche en débris grossiers de schiste que celui de Beaucouzé et contenant environ 90 p. 100 de terre fine. La teneur du sol en argile était de 11 p. 100 environ, cette argile contenant environ pour moitié de Mica et pour moitié de Chlorite. La teneur totale du sol en Mica était donc

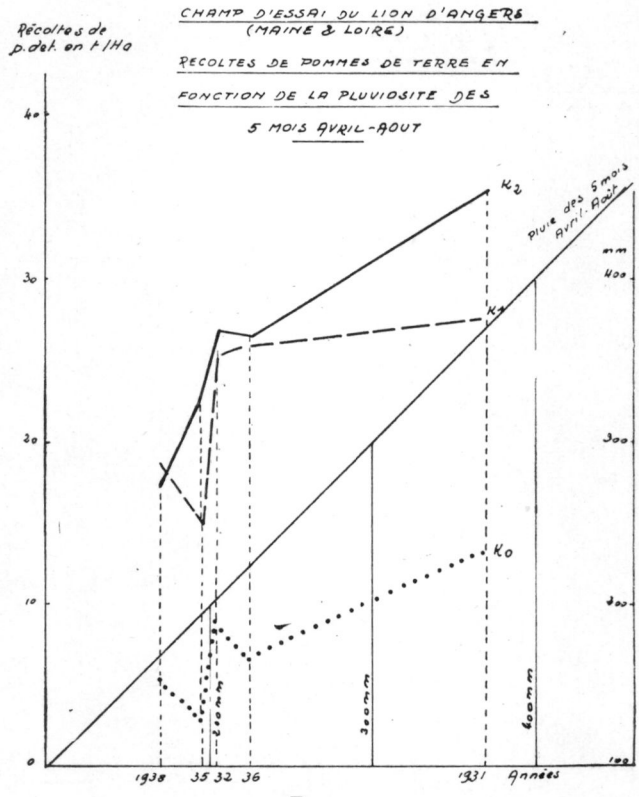


FIG. 4.

du même ordre de grandeur que celle de Beaucouzé. Le graphique des rendements en pomme de terre au Lion d'Angers en fonction des pluviosités des cinq mois (fig. 4) est assez voisin de celui de Beaucouzé.

VII. — CHAMP DU PETIT BÈLE (Loire Atlantique)

Ce champ établi en 1947 sur alluvions anciennes à la surface de micaschiste, présente un sol comportant environ 86 p. 100 de terre fine avec 12,5 p. 100 d'argile. Cette dernière contient 60 p. 100 de Chlorite mélangée de Mica et de Quartz fin.

Les rendements moyens en pomme de terre ont été les suivants :

Bande K_0 : sans engrais potassiques : 12 t/ha de tubercules.

Bande K_1 : avec 100 kg/K_2O/ha : 23 t/ha de tubercules.

Bande K_2 : avec 200 kg/K_2O/ha : 24,9 t/ha de tubercules.

On observe au cours des essais une baisse assez régulière des rendements en pomme de terre dans la bande K_0 ne recevant pas d'engrais potassiques qui passent de 13,9 t/ha en 1948 à 6,6 t/ha en 1954. Un apport

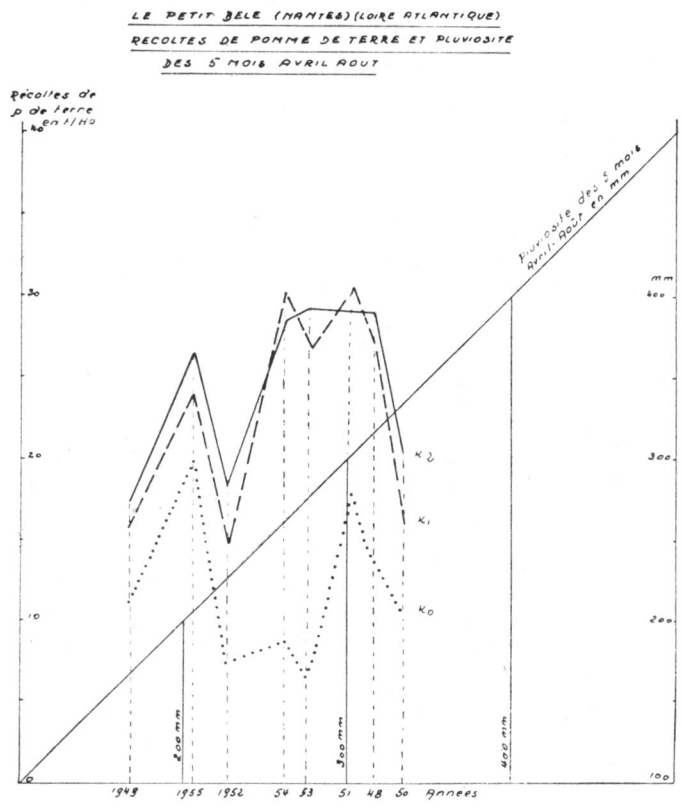


FIG. 5.

de fumier de ferme en 1955 a fait remonter le rendement en pomme de terre en K_0 à 19,9 t/ha.

Le graphique des rendements en pomme de terre au Petit Bèle en fonction des pluviosités des 5 mois (fig. 5) est assez proche de celui de Saint-Jean-du-Cardonnay.

En dehors de l'élévation anormale des rendements due à l'emploi du fumier de ferme en 1955, on observe une rapide élévation des rendements en K_1 et K_2 jusqu'à un plateau de rendement maximum s'étendant entre 260 et 320 mm de pluviosité des cinq mois. Au-dessus l'effondre-

ment des récoltes de pomme de terre est dû au mildiou. Mais il y a lieu de noter, dans la zone des rendements maxima, l'égalité des rendements en K_1 et K_2, attribuable au faible pouvoir de rétention des ions K^+ par l'argile chloritique dominante au Petit Bèle.

VIII. — CHAMP DE LA HARPE, RENNES (Ille-et- Vilaine)

Le champ de La Harpe a été installé sur sol de limon reposant sur une couche de sable et gravier tertiaire plaquée sur schistes briovériens. Ce sol contient environ 10 p. 100 d'argile constituée pour 60 p. 100 de Chlorite mélangée d'un peu de Mica, mais surtout de Quartz très fin assez abondant pour avoir rendu difficile la détermination minéralogique des argiles par les rayons X.

On a très rapidement observé à La Harpe un véritable effondrement des rendements en pomme de terre dans la bande K_0 ne recevant pas d'engrais potassiques. Les fortes doses d'engrais potassiques (200 kg/K^2O/ha) ne se sont pas montrées d'une efficacité supérieure à celle des doses moyennes de 100 kg/K_2O/ha ; aussi a-t-on été amené, à partir de 1944, à supprimer les apports de fortes doses pour ne conserver que les 2 bandes K_0 et K_1.

De 1941 à 1950, les rendements moyens en pomme de terre dans les bandes K_0 et K_1 ont été les suivants :

Bande K_0 : sans engrais potassiques : 9,6 t/ha de tubercules.

Bande K_1 : avec 100 kg/K_2O/ha : 22 t/ha de tubercules.

Par comparaison avec ce qui était observé dans les autres champs d'essais, la pomme de terre a présenté à La Harpe une précocité plus grande, se traduisant, dans la bande K_0, par une plus rapide dessication des fanes et, dans la bande K_1, par une action des pluviosités tardives du mois d'août peu sensible sur les rendements en pomme de terre. Cette précocité des pommes de terre à La Harpe, qu'elle soit attribuable à la température douce du début du printemps sous climat armoricain ou à la sécheresse pédologique du sol, nous a amenés à utiliser dans la fig. 6 représentant les *rendements en pomme de terre à La Harpe en fonction des pluviosités des 5 mois, les hauteurs d'eau en mm tombées durant les 5 mois mars à juillet*, au lieu de celles tombées d'avril à août.

On voit sur cette fig. 6, dans la bande K_0 en l'absence d'engrais potassiques, les pluviosités croissantes accompagnées d'une baisse progressive des rendements en pomme de terre, et en K_1, avec dose moyenne d'engrais potassique, les pluviosités moyennes comprises entre 200 et 260 mm d'eau correspondre aux plus forts rendements en pomme de terre.

Mais ces rendements en pomme de terre, même en K_1, se montrent

inférieurs à ceux obtenus avant les essais avec apport de fumier de ferme; on a donc essayé d'améliorer la teneur du sol en humus par des apports de tourteaux et la culture des engrais verts. On a ainsi obtenu de 1951 à 1955 les rendements moyens suivants en pomme de terre :

Bande K_0 : sans engrais potassiques :15,2 t/ha de tubercules.

Bande K_1 : avec 100 kg/K_2O/ha : 36,7 t/ha de tubercules.

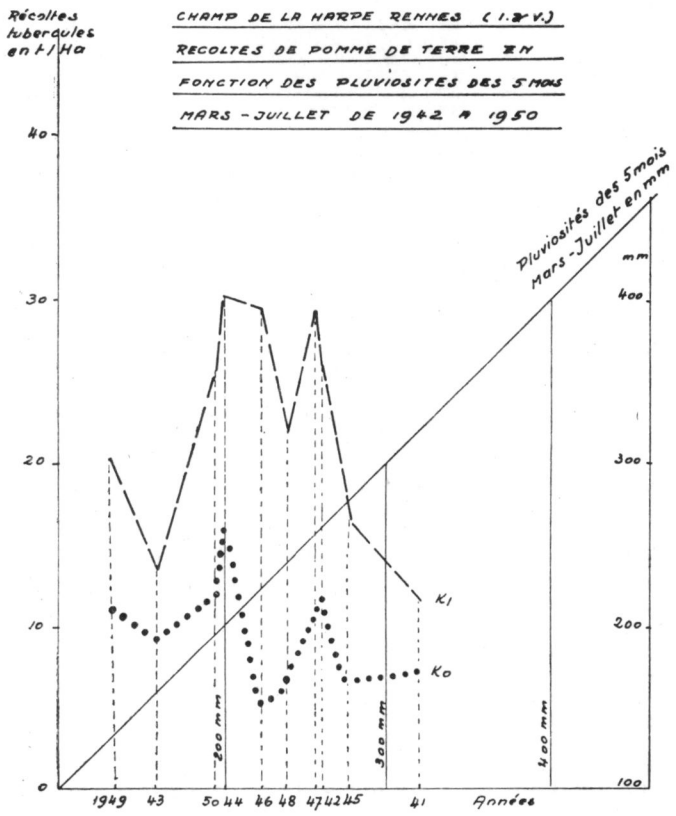


FIG. 6.

Dans ce sol à argile chlorito-quartzeuse dominante retenant mal les ions K^+ des engrais, l'apport de matière humique a donc amené une augmentation moyenne des rendements en pomme de terre de 5,7 t/ha en K_0 et de 14,7 t/ha en K_1. Grâce à cet apport complémentaire, l'augmentation des rendements en pomme de terre due à l'action des engrais potassiques s'est montrée particulièrement énergique à la Harpe en années sèches où l'on a vu les rendements en K_1 quadruplés et même quintuplés par rapport à ceux obtenus en K_0 sur sol carencé en potasse.

IX. — CHAMP DE LEVET (Cher)

Le champ de Levet a été créé en 1946 sur un sol sableux d'origine sidérolithique reposant, vers 0,70 m de profondeur, sur un socle de calcaire lithographique rauracien très dur. Ce sol contient environ 13,5 p. 100 d'argile formée par un mélange de Kaolinite et de Mica dominé par une très forte proportion de Quartz fin dont l'action perturbatrice sur les dia-

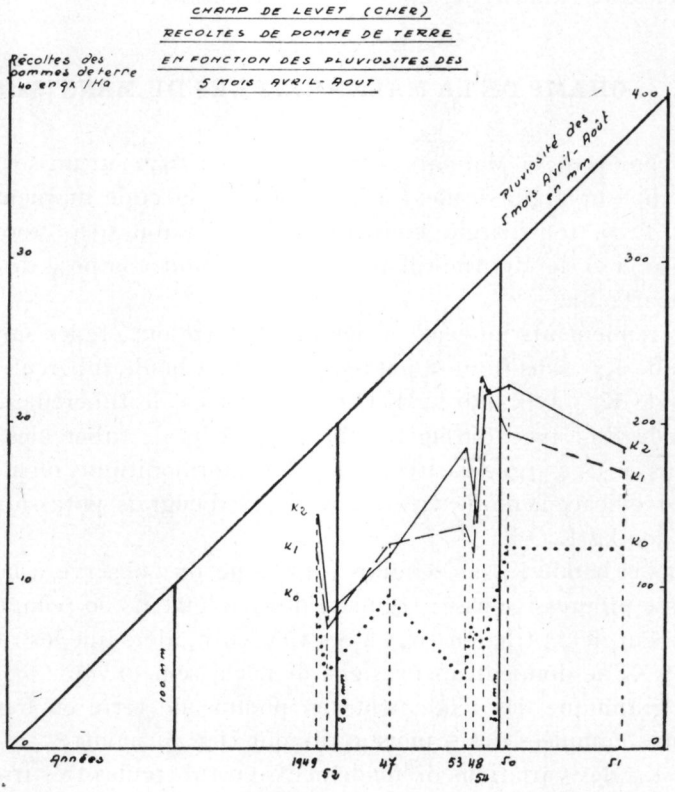


FIG. 7.

grammes de rayons X a rendu impossible la fixation des pourcentages des diverses argiles.

Les rendements en pomme det erre ont toujours été remarquablement bas à Levet en K_0 et aussi en K_1 et K_2 :

Bande K_0 : sans engrais potassiques : 8,5 t/ha de tubercules.

Bande K_1 : avec 100 kg/K_2O/ha : 14,7 t/ha de tubercules.

Bande K_2 : avec 200 kg/K_2O/ha : 16,3 t/ha de tubercules.

On voit que les rendements moyens en tubercules à Levet en K_1 et K_2, c'est-à-dire avec doses moyennes et fortes d'engrais potassiques, sont du

même ordre de grandeur que ceux obtenus sans aucun engrais potassique à Lieusaint.

Le graphique des rendements en pomme de terre à Levet en fonction des pluviosités des cinq mois (fig. 7) montre une action positive peu sensible des pluviosités croissantes sur les rendements en tubercules en K_0 ,mais une action plus marquée en K_1 et K_2.

La présence de pseudo-argile quartzeuse en grande abondance se traduit, par la faiblesse des rendements en pomme de terre en K_0, K_1 et K_2 en l'absence de fumure organique complémentaire.

X. — CHAMP DE LA MALMARE, PRÈS DU MANS (Sarthe)

Le champ de la Malmare a été installé en 1946 sur un sol de limon quaternaire sur argile à silex, à la surface de la craie marneuse. Ce sol contient 12 p. 100 d'argile constituée pour environ 50 p. 100 de Mica, pour 20 p. 100 de Montmorillonite, le reste étant composé de Kaolinite et de Quartz fin.

Les rendements moyens en pomme de terre ont été les suivants :

Bande K_0 : sans fumure potassique : 14,1 t/ha de tubercules.

Bande K_1 : avec 150 kg/K_2O/ha : 24,7 t/ha de tubercules.

Bande K_2 : avec 300 kg/K_2O/ha : 29,3 t/ha de tubercules.

Dans ce sol à argile partiellement montmorillonitique, on a été amené à utiliser efficacement de très fortes doses d'engrais potassiques allant jusqu'à 300 kg/K_2O/ha.

Dans la bande K_0 sans engrais potassique, on a observé à la Malmare une baisse progressive assez régulière des rendements en pomme de terre qui tombent de 23 t/ha en 1948 à 8,5 t en 1955, alors que les rendements en K_1 et K_2 ne donnent aucun signe de fléchissement.

Le graphique des rendements en pomme de terre en fonction des pluviosités cumulées des 5 mois avril-août (fig. 8) montre :

En K_0, des variations de rendements en tubercules très irrégulières : les points hauts de la courbe correspondent aux rendements des premières années de culture, époque où le sol contenait encore des résidus de fumures organiques importantes à base de gadoue et de fumier de ferme apportées avant les essais.

Les courbes K_1 et K_2, sont largement espacées. Les rendements en tubercules les plus élevés des courbes correspondent aux pluviosités assez fortes comprises entre 230 et 310 mm de pluie des cinq mois, les plus faibles aux pluviosités faibles, voisines de 150 mm, et aux pluviosités très fortes, dépassant 390 mm, se traduisant par de fortes attaques de mildiou.

En 1953, une pointe anormale des rendements en tubercules en K_1

et K_2 correspond à l'enfouissement d'une coupe de luzerne à la fin de l'année précédant la plantation des pommes de terre.

Mais le caractère essentiel du graphique de la Malmare est le fort écartement des courbes K_1 et K_2 marquant le très fort besoin en potasse de son argile partiellement montmorillonitique.

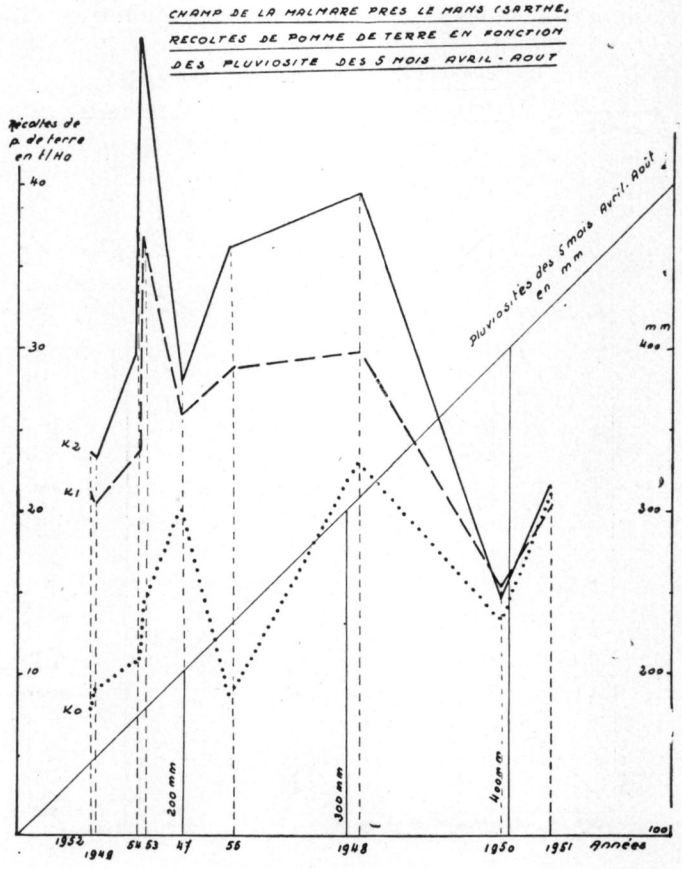


FIG. 8.

XII. — CHAMP D'AMMERZODEN (Gelderland-Pays-Bas)

Le champ d'Ammerzoden a été organisé en 1928 sur un sol d'alluvions anciennes décalcifiées du delta de la Meuse. Ce sol fortement argileux contient environ 29 p. 100 d'argile, constituée pour 40 p. 100 de Montmorillonite accompagnée de Mica et d'un peu de Chlorite, de Kaolinite et de Quartz.

La nappe phréatique se trouve artificiellement maintenue à une profondeur moyenne de 1,35 m.

De 1928 à 1943 les rendements moyens en pomme de terre ont été les suivants :

Bande K_0 : sans engrais potassiques : 10,2 kg/K_2O/ha de tubercules.

Bande K_1 : avec 180 kg/K_2O/ha : 23,0 kg/K_2O/ha de tubercules.

Bande K_2 : avec 360 kg/K_2O/ha : 28, 4 kg/K_2O/ha de tubercules.

Deux remarques s'imposent :

1° A Ammerzoden, les rendements en pomme de terre en K_0, en l'ab-

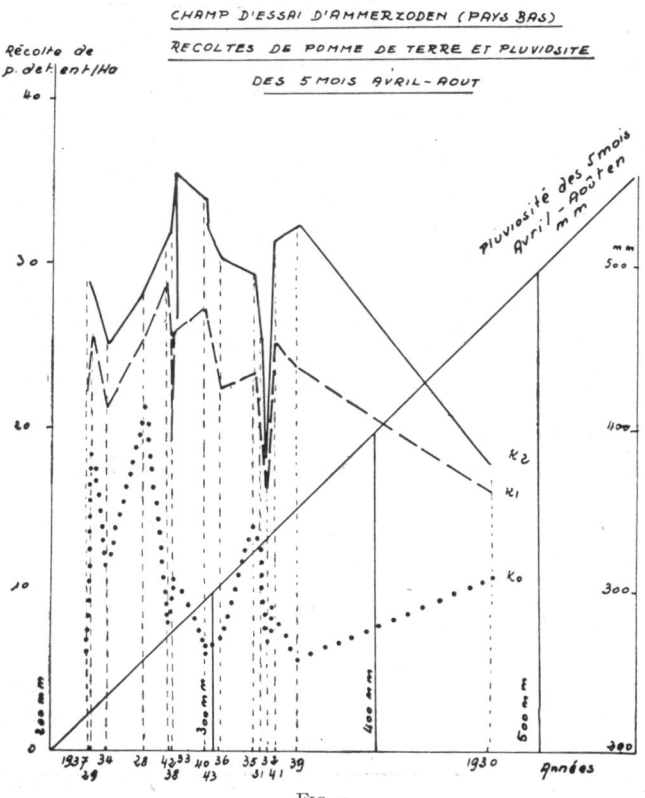


FIG. 9.

sence d'engrais potassiques, ont régulièrement baissé de 21,2 t/ha en 1928 à 6,6 t/ha en 1943 ; ce qui correspond à l'épuisement progressif des ions K^+ accumulés antérieurement dans les fentes plus ou moins ouvertes de l'argile montmorillonitique.

2° A Ammerzoden, les rendements en pomme de terre en K_1 avec dose de 180 kg/K_2O/ha d'engrais potassiques, après une légère baisse initiale, ont régulièrement progressé de 16,1 t/ha en 1930 à 26,6 t/ha en 1943, pendant que les rendements en K_2, avec 360 kg/K_2O/ha d'engrais potassiques, passaient dans le même temps de 18 t/ha en 1930 à 34,0 t/ha en 1943.

On voit le besoin considérable en potasse du sol montmorillonitique

d'Ammerzoden dans lequel des fumures potassiques très élevées de 360 kg/K_2O/ha se sont montrées nettement plus efficaces sur les rendements en pomme de terre que des fumures moyennes déjà substantielles de 180 kg/K_2O/ha.

Le graphique des rendements en pomme de terre à Ammerzoden en fonction des pluviosités cumulées des cinq mois avril-août (fig. 9) montre trois courbes largement espacées.

Sur ce sol à nappe phréatique assez proche de la surface, la pomme de terre dans la bande K_0, en l'absence d'engrais potassiques, souffre à partir de 280 mm d'un excès de pluviosité. Au contraire les fumures potassiques moyennes en K_1 et plus encore les très fortes fumures potassiques en K_2 permettent aux cultures de pomme de terre une bonne utilisation des pluviosités élevées jusqu'au voisinage de 360 mm, chiffre au-delà duquel la pomme de terre paraît souffrir d'accidents cryptogamiques.

CONCLUSIONS

La présente étude porte sur les rapports existant entre la structure minéralogique des argiles des sols de 9 champs d'essais d'engrais potassiques et les rendements en pomme de terre obtenus avec différentes doses d'engrais potassiques en fonction de la pluviosité des diverses années.

Voici le résumé des observations qui ont pu être faites :

1° **En sols partiellement montmorillonitiques** (Ammerzoden et la Malmare), on a enregistré, en l'absence d'engrais potassiques, une baisse systématique des rendements en pomme de terre. L'emploi des doses moyennes et plus encore l'utilisation des doses très fortes d'engrais potassiques atteignant 300 et 360 kg/K_2O/ha ont au contraire amené des augmentations systématiques et largement progressives des rendements en tubercules et permis une bien meilleure utilisation par la pomme de terre des assez fortes pluviosités. Le besoin particulièrement élevé en engrais potassiques de la pomme de terre en sol montmorillonitique est à rattacher au pouvoir d'échange considérable de la Montmorillonite lié à ses fentes interfoliaires largement ouvertes.

2° **En sols à argile micacée dominante** (Lieusaint, Ablis-Long Orme, Beaucouzé, le Lion d'Angers) on n'enregistre pas de baisse systématique des rendements en pomme de terre dans la bande K_0 ne recevant pas d'engrais potassique. De plus, c'est la hauteur cumulée des pluviosités, durant les cinq mois (avril-août) où se fait le développement de la pomme de terre, qui règle, pour une part très large, l'importance des rendements en tubercules en K_0, K_1 et K_2, grâce à la présence constante d'ions K^+ disponibles aux extrémités entrebaillées des feuillets d'argile micacée, même en l'absence de fumure potassique. Les rendements en K_2, avec fortes doses d'engrais potassiques, dépassent régulièrement les rendements en K_1, avec doses moyennes, en raison du fort pouvoir de fixation des ions K^+ par

l'argile micacée ; les besoins importants en ions K^+ du sol micacé s'ajoutent aux besoins de la plante en potasse.

3° **En sols à argile chloritique dominante** (le Petit Bèle), on observe une chute plus ou moins rapide des rendements en pomme de terre dans les parcelles K_0, sans engrais potassiques, traduisant la pauvreté en potasse de l'argile chloritique. Mais on observe aussi une forte action des doses moyennes d'engrais potassiques sur les rendements en pomme de terre s'avérant aussi efficaces que les fortes doses. Cela est dû au faible pouvoir de rétention vis-à-vis des ions K^+ que présente l'argile chloritique. Les besoins en ions K^+ du sol chloritique sont faibles par rapport aux besoins de la plante.

A la Harpe, où l'argile chloritique dominante s'accompagne d'une très forte proportion de pseudo-argile quartzeuse, les engrais potassiques à doses moyennes n'ont marqué leur pleine efficacité vis-à-vis des récoltes de pomme de terre qu'avec un apport complémentaire de matière humique, compensant le pouvoir insuffisant de fixation de l'argile vis-à-vis des ions K^+ de l'engrais.

4° **En sols à pseudo-argile quartzeuse dominante** (Levet), on a constaté la faiblesse des rendements en pomme de terre correspondant à une action réduite des engrais potassiques et des pluviosités croissantes. C'est, semble-t-il, dans ce type de sol qu'on pourrait attendre le plus d'efficacité des apports combinés de potasse et d'humus qui ont très bien réussi à la Harpe.

Notons, pour finir, qu'à côté de cette action favorable de l'humus et des engrais potassiques en sol à pseudo-argile quartzeuse, nous avons observé également, sur sols à argiles chloritique, micacée et montmorillonitique, une augmentation substantielle de l'efficacité des engrais potassiques sur les rendements en pomme de terre lorsque cette plante succède à une culture prolongée de luzerne ayant amélioré la teneur du sol en humus.

Dans l'ensemble, nous avons donc constaté que les besoins en engrais potassiques d'une culture de pomme de terre, sur un sol donné, ne dépendent pas seulement des besoins physiologiques en potasse de la plante elle-même, mais aussi des besoins en ions K^+ de l'argile du sol, besoins variables avec la nature minéralogique de cette argile et croissant avec son pouvoir d'échange de bases dans l'ordre suivant :

Quartz, Kaolinite, Chlorite, Mica, Montmorillonite.

L'apport au sol d'humus sous forme d'amendements organiques ou par la culture des engrais verts, en augmentant le pouvoir de rétention du sol à l'égard des ions K^+ et de l'eau météorique, s'avère toujours favorable à l'élévation des rendements en pomme de terre, mais se montre particulièrement indispensable en sols quartzeux, kaolinitique et chloritique à plus faible pouvoir d'échange.

Reçu pour publication en août 1957

RÉSUMÉ

Influence des types d'argile des sols et de la pluviosité sur la nutrition potassique de la pomme de terre (1er mémoire)

La présente étude porte sur les rapports existant entre la structure minéralogique des argiles des sols de 9 champs d'essais d'engrais potassiques et les rendements en pommes de terre obtenus avec différentes doses d'engrais potassiques en fonction de la pluviosité des diverses années.

Les observations faites :

1° en sols partiellement montmorillonitiques,

2° En sols à argile micacée dominante,

3° En sols à argile chloritique dominante,

4 : En sols à pseudo-argile quartzeuse dominante.

permettent de constater que les besoins en engrais potassiques d'une culture de pomme de terre, sur un sol donné, ne dépendent pas seulement des besoins physiologiques en potasse de la plante elle-même, mais aussi des besoins en ions K^+ de l'argile du sol, besoins variables avec la nature minéralogique de cette argile et croissant avec son pouvoir d'échange de bases.

L'apport au sol d'humus (amendements organiques ou engrais verts) en augmentant le pouvoir de rétention du sol à l'égard des ions K^+ et de l'eau météorique s'avère toujours favorable à l'élévation des rendements.

SUMMARY

The effect of clay type and rainfall on the potassium nutrition of potato. (First Communication)

The correlations are discussed between the mineralogical structure of clays in soils of nine potassium-fertilizing experimental fields and the yields of potato receiving different rates of potassium fertilizer, in relation to rainfall conditions in various years.

The investigations were done with soils :

1. partially montmorillonitic,
2. containing predominantly micaceous clay,
3. containing predominantly chloritic clay, and
4. containing predominantly quartzose pseudo-clay.

Results indicated that the potassium requirement of a potato crop on a given soil depended not only on the physiological potassium needs of the plant but on the K^+-ion requirement of the clay as well, varying with the mineralogical character of the clay and increasing with increasing cation-exchange capacity.

Enrichment of the soil with organic matter (organic amendments or green manure) which increases the K^+-fixing capacity of the soil and rain are beneficial for increased yields.

ZUSAMMENFASSUNG

Einfluss der Tontypen der Böden und der Niederschlagsmenge auf die Kaliernährung der Kartoffel (1. **Originalarbeit**)

Diese Arbeit befasst sich mit den Beziehungen zwischen der mineralogischen Struktur der Bodentonmineralien von 10 Kalidüngungsversuchsfeldern und

die Kartoffelerträge die bei verschiedenen Kalidüngergaben im Zuzammenhang mit der Niederschlagsmenge während mehreren Jahren gewonnen wurden.

Die Beobachtungen die :

1. Auf zum Teil montmorillonitischen Böden.
2. Auf Böden mit vorherrschenden Glimmertonen.
3. Auf Böden mit vorherrschenden Chlorittonen.
4. Auf Böden mit vorherrschendem Quartzpseudoton.

gemacht wurden, gestatten es festzustellen, dass der Kalidüngerbedarf einer Kartoffelernte, auf einem bestimmten Boden, nicht nur von dem physiologischen Bedarf der Planze sondern auch von dem K-Ionenbedarf der Tonmineralien des Bodens abhängt. Dieser letztere Bedarf hängt von der mineralogischen Struktur des Tones ab und wächst mit der Basenaustauschkapazität.

Humuszufuhr dem Boden (Humusdünger oder Gründüngung) begünstigt stets die Erhöhung der Erträge durch Steigerung der Sorptiensfähigkeit gegenüber K^+ Ionen und Regenwasser.

РЕЗЮМЕ

Влияние типов почвенной глины и количества осадков на калийное питание картофеля.

П. Ж. Ж. ФРАНК-ДЕ-ФЕРРИЕР.

Это изыскание касается зависимости между минералогическим составом почвенных глин десяти полей с испытаниями калийных удобрений и урожаем картофеля, полученным с различными количествами калийных удобрений, в зависимости от величины осадков различных лет.

Наблюдения сделанные :

1. в почвах частично монтмориллонитных;
2. в почвах, где преобладает глина со слюдой;
3. в почвах, где преобладает хлоритная глина;
4. в почвах, где преобладает ложная кварцевая глина, позволяют установить, что нужда в калийных удобрениях культуры картофеля на некоторой имеющейся почве не зависит только от физиологической потребности в калии самого растения, но также от нуждаемости в ионе K^+ почвенной глины; эта нуждаемость изменяется в зависимости от минералогической природы глины и увеличивается вместе с ее способностью поглощать основания.

Обогащение почвы гумусом (при внесении органических удобрений или при культуре зеленого удобрения), увеличивая поглотительную способность почвы по отношению к иону K^+ и к дождевой воде, является всегда благоприятным для увеличения урожаев.

MÉTHODE POUR L'ÉTUDE DE LA STABILITÉ STRUCTURALE DES SOLS

PAR

S. HÉNIN et G. MONNIER, Laboratoire des Sols, Versailles.

et A. COMBEAU, I. D. R. T., Bondy

PLAN DU MÉMOIRE

I. — **Introduction.**

II. — **Rappel de la méthode d'analyse d'agrégats.**

III. — **Méthode d'étude du comportement de la terre en milieu concentré.**

IV. — **Comparaison des résultats.**

1° Influence des matières organiques et des systèmes de culture.
2° Influence du calcium et du sodium sur la stabilité structurale du sol.
3° Application à l'étude du drainage-taupe.
4° Étude de l'ensemble des résultats.
5° Étude de profils de podzols et de sols tropicaux.

V. — **Conclusions.**

I. — INTRODUCTION

Il a été établi, dans un précédent mémoire, qu'il était nécessaire, pour apprécier la stabilité structurale des sols, de faire appel à une série de techniques différentes.

Les unes ont pour objet de déterminer la stabilité des agrégats, les échantillons de terre ayant été imprégnés de liquides variés ; les autres permettent de mettre en évidence le comportement du sol en milieu concentré. Dans ce dernier cas, pratiquement, on évaluait la stabilité de suspensions contenant plusieurs centaines de grammes par litre de l'échantillon à étudier.

Les recherches effectuées depuis cette date ont montré le bien fondé des principes généraux qui avaient été posés. Seule la technique consistant à étudier la dispersion des terres en milieu concentré s'est révélée inapplicable. En effet, il est apparu à l'usage que ce comportement était profondément influencé par des facteurs secondaires, tels que la présence de petites quantités d'électrolytes, dépendant elles-mêmes de la date du

prélèvement des matériaux. Si cette technique permet des comparaisons relatives, elle ne permet pas de porter un jugement ayant une valeur absolue sur le comportement d'un terrain.

Les techniques de mesure de la stabilité des agrégats n'ont donc pas été modifiées. Par contre, une nouvelle méthode basée sur la vitesse de percolation a été mise au point pour apprécier le comportement des terres en milieu concentré. Contrairement à la précédente, cette méthode est d'une application générale.

Dans le précédent mémoire, nous avions été amenés à proposer une formule intégrant l'ensemble des résultats expérimentaux déterminés sur un échantillon donné. L'utilisation d'une nouvelle méthode nous a conduit à abandonner ce mode de calcul et à rechercher un nouveau système de présentation des résultats. Contrairement à l'ancienne formule on fait intervenir tous les résultats partiels.

Nous nous proposons, dans ce mémoire, de décrire les techniques utilisées, de justifier la méthode de représentation des résultats et enfin de montrer par des exemples l'intérêt de la méthode. Soulignons dès maintenant le fait qu'elle peut être appliquée aussi bien aux sols européens qu'aux terres tropicales.

II. — RAPPEL DE LA MÉTHODE D'ANALYSE D'AGRÉGATS

I. — **Préparation de l'échantillon.** — L'échantillon est prélevé avec précaution (loin du fer de la bêche). La terre est séchée à l'air en mottes.

Les mottes sèches (200 g environ) sont forcées *à la main* à travers un tamis de 2 *mm à mailles carrées*. Dans certains cas il est impossible de briser les mottes à la main. On utilise alors un mortier et un pilon et on élimine la terre fine par des tamisages très fréquents.

La terre fine est alors étendue sur un plateau et brassée en croix plusieurs fois pour obtenir la meilleure homogénéisation possible dans la répartition par taille des agrégats sur le plateau.

On pèse alors *trois fois* 10 g que l'on obtient en déposant sur le plateau d'un trébuchet de précision 4 ou 5 prises prélevées en des points différents de l'échantillon étalé.

II. — **Traitement de la terre.** — Chaque prise d'essai de 10 g est déposée au fond d'un bécher de 250 cc.

Dans le bécher n° 1 la terre est humectée par 10 cc d'alcool éthylique.

Dans le bécher n° 2, on ajoute 10 cc de benzène, le bécher n° 3, lui, est brutalement rempli d'eau distillée. Au bout de 5 minutes, les béchers 1 et 2 sont également remplis d'eau.

L'ensemble est alors laissé au repos.

Au bout de 30 minutes, on transvase quantitativement le contenu du bécher dans un erlenmeyer de 750 cc sur lequel est marqué un repère à 300 cc. Pour cette opération on peut s'aider d'un jet de pissette dirigé de façon à ne pas détruire d'agrégats.

Le volume est amené à 300 cc, l'erlenmeyer bouché, et on agite 20 fois par retournement.

Le contenu de l'erlenmeyer est alors jeté sur un tamis de maille 0,2 mm et de 10 cm de diamètre déposé dans une capsule de porcelaine de 1 litre. On s'aide d'un jet de pissette avec les mêmes précautions que précédemment.

On tapote le tamis sur le fond de la capsule pour chasser l'air emprisonné et on imprime *20 fois* de suite au tamis un mouvement hélicoïdal aller et retour (d'amplitude 120° environ).

En fait chaque opérateur doit tester la méthode compte tenu d'un certain coefficient personnel. Pour cela il est pratique d'essayer sur un même échantillon un nombre d'agitations variables allant de 10 à 40 par exemple. On choisira le nombre de coups de tamis au-delà duquel le taux d'agrégats restant sur le tamis ne diminue plus de façon sensible.

Les agrégats restés sur tamis sont recueillis dans une capsule, séchés et pesés.

Le filtrat est transvasé dans une allonge de sédimentation avec précaution. Le volume est amené à 1 000 cc.

On homogénéise pendant 15 secondes la suspension par retournements et on prélève à la pipette de Robinson la fraction correspondant à l'argile + limon (A + L) (particules de diamètre inférieur à 20 μ).

REMARQUE : Il arrive que la suspension flocule pendant la sédimentation. Dans ce cas on homogénéise à nouveau, on introduit 10 cc de citrate de Na normal et on fait *un* retournement. Cette suite d'opérations se termine au temps t_0 origine choisie de la sédimentation.

Expression des résultats : Le coefficient adopté est le suivant :

$$S = \frac{(A + L)\ \max}{\frac{\Sigma\ \text{agrégats}}{3}} - 0{,}9\ SG$$

où (A + L) max représente la fraction < 20 μ obtenue par le prétraitement le plus dispersant, et SG le pourcentage des sables grossiers (> 200 μ).

Les sables grossiers sont obtenus par une analyse mécanique *sans destruction du calcaire* (dispersion par le citrate de sodium normal de la terre saturée en K^+).

On peut dans la plupart des cas éviter de prélever la fraction argile + limon sur celui des trois échantillons qui a reçu le prétraitement à l'alcool éthylique.

Le pourcentage maximum d'éléments $< 20\ \mu$ est en effet obtenu dans la très grande généralité des cas sur l'échantillon prétraité au benzène ou sur celui qui n'a subi aucun prétraitement.

Le coefficient S ainsi obtenu peut varier de 0,1 pour des terres riches en matière organique à plus de 100 pour des marnes ou des terres sodiques (log 10 s variant ainsi de 0 à 3).

Exemple de calcul.

Agrégats grossiers %				Argile + limon %			
Alcool	Air	Benzène	Moyenne	Air	Benzène	Maximum	S G
64,5	46,1	23,8	44,8	20,8	36,7	36,7	13,2

$$S = \frac{36,7}{44,8 - 0,9 \times 13,2} = 1,11$$

$$\log 10\ S = 1,05$$

Compte tenu des erreurs notées au cours des différentes opérations, il faut admettre une erreur relative globale $\frac{\Delta s}{s}$ de 8 p. 100.

En fait, cette erreur théorique maxima est rarement atteinte et la différence entre deux mesures sur un même échantillon est généralement de l'ordre de 3 à 5 p. 100.

Comportement de différents types de sol sous l'influence des prétraitements.

Types de comportement	Agrégats grossiers %		
	Alcool	Air	Benzène
I. — *Fraction agrégée élevée et sensiblement constante:*			
Sol argilo-humique sur alluvion de l'Ouémé (Dahomey)	79,0	76,5	68,1
Sol noir sur basalte récent (Cameroun)	64,0	63,5	60,5
Sol humifère de prairie (Centre de la France)	83,1	77,0	76,5
Rendzine (sur calcaire tendre crétacé)	72,8	64,5	67,6
II. — *Fraction agrégée élevée pour l'alcool et l'air, faible pour le benzène:*			
Sol ferallitique rouge sur basalte ancien (horizon profond)	77,1	73,2	0,3
Sol ferrugineux tropical lessivé sur granit (Cameroun)	56,1	46,4	1,3
Terre noire de Limagne (sous-sol)	71	56,2	8,7
III. — *Fraction agrégée moyenne ou forte pour l'alcool, très faible pour l'air et le benzène:*			
Argile de sous-sol des Landes	47,6	2,3	0,7
Argile marneuse grise (Italie)	19,2	0,3	0,2
IV. — *Fraction agrégée très faible dans tous les cas:*			
Sol salin (Maroc)	5,5	2,8	1,8
Tirs de bas fond (Maroc)	8,0	4,9	2,9
Sol sur montmorillonite magnésienne (Guadeloupe) horizon profond	0,5	0,4	0,3
Argile marneuse beige (Italie)	1,1	0,1	0,2
Marne du Plaisancien (France)	1,7	0,5	0,4
Horizon profond de Solonetz (Marais Rochefortais)	2,0	0,5	1,1

Les quatre séries de cas présentées dans ce tableau font clairement apparaître les éléments d'interprétation des résultats. Il y a quatre éven-

tualités possibles, les terres sont ou résistantes ou sensibles aux trois traitements ce qui correspond à la stabilité la plus élevée et à la plus faible. La sensibilité au benzène, s'opposant à la résistance aux deux autres traitements, correspond au cas de terres bien cimentées et pauvres en matière organique. Les terres sensibles au traitement au benzène et à l'humectation à l'air sont en général riches en limon, pauvres en matière organique. Ce sont de tels résultats qui justifient l'emploi de ces différentes techniques puisque, d'une part, elles permettent une appréciation beaucoup plus nuancée du comportement des sols et que, d'autre part, elles font apparaître les facteurs déterminant ce comportement.

III. — MÉTHODE D'ÉTUDE DU COMPORTEMENT DE LA TERRE EN MILIEU CONCENTRÉ

C'est là un problème particulièrement délicat car on connaît mal les facteurs qui déterminent ce comportement et, d'autre part, la technique de mesure elle-même peut modifier assez profondément les propriétés mesurées. Nous avons retenu après de nombreux essais la mesure du coefficient de perméabilité K déterminé par percolation à travers un poids de terre constant placé dans des tubes de même forme. Bien que physiquement identique à une mesure de perméabilité, le résultat en diffère notablement puisque l'état initial du sol a été profondément modifié par la préparation de la terre.

L'échantillon est en effet traité comme pour la mesure de la stabilité des agrégats, c'est-à-dire qu'il est tamisé avec précaution de manière à ne pas détruire des particules d'une taille inférieure à 2 mm. La mesure de K sur un tel échantillon soulève de nombreuses difficultés. Tout d'abord, la terre elle-même peut renfermer une certaine quantité de sels solubles accumulés pendant la période sèche et, de ce fait, la perméabilité se trouve modifiée. D'autre part, il faut éviter d'emprisonner de l'air entre les grains de terre. On cherche parfois à éviter cet inconvénient en effectuant une imbibition du tube par en-dessous en utilisant la capillarité, mais malgré cette précaution des quantités notables de gaz peuvent se trouver emprisonnées. L'inconvénient le plus grave de ce mode opératoire vient de ce que la terre tend à gonfler quand on l'imbibe d'eau. Etant enfermée dans un tube elle ne peut se dilater et subit de ce fait un tassement. L'état final dépend donc du tassement initial de la terre dans le tube et du gonflement de celle-ci sous l'influence de l'eau. Aux indéterminations résultant de ces actions vient s'ajouter l'occlusion d'air. C'est dire que le résultat est tout à fait arbitraire. Il est d'ailleurs fréquent dans ces conditions que des échantillons provenant de terre ayant reçu des matières organiques et ayant de ce fait un comportement amélioré

in situ présentent une perméabilité inférieure au témoin ce qui paraît attribuable au gonflement complémentaire dû à la présence de matières organiques.

Pour éviter ces inconvénients, on opère de la manière suivante :

Percolation.

Préparation de l'échantillon. — Elle est la même que pour l'analyse d'agrégats. La prise d'essai est de 50 g environ prélevés en une dizaine d'endroits différents de l'échantillon homogénéisé et étalé.

Remplissage des tubes. — Les tubes de percolation utilisés sont des tubes de verre de 32 mm environ calibrés et de 160 mm de hauteur ourlés aux deux extrémités pour la fixation de la toile filtrante ; cette dernière est découpée dans une étamine de 0,5 mm de maille environ. On peut avantageusement utiliser une toile à bluter en nylon.

Pour éviter le colmatage de la toile, on la surmonte d'une colonne de 20 mm de graviers de 2 à 4 mm lavés et conservés dans l'eau pour leur assurer une bonne mouillabilité.

Les tubes garnis de graviers sont disposés dans des béchers de 250 cc forme haute, et on ajoute de l'eau distillée de façon à ce que le niveau commun dans le bécher et dans le tube s'établisse à 20 mm environ au-dessus de la surface supérieure de la colonne de graviers, elle-même bien horizontale.

On introduit progressivement 1/5 environ de l'échantillon de façon à ce que les particules tombent au milieu du tube. A la fin de cette addition, une rotation rapide du tube autour de son axe égalise la surface de la colonne de terre, le tube plongeant dans l'eau.

On ajoute alors 20 mm d'eau dans le tube au-dessus de la surface de terre et on égalise la surface par une rotation après avoir amené l'eau dans le bécher au même niveau.

Une deuxième fraction de 10 g est alors introduite. On recommence l'opération jusqu'à épuisement de l'échantillon.

Remarque : 1° Les grains de terre doivent toujours tomber dans un excès d'eau. Dans le cas de terre très peu dense (riche en matières organiques) il faut introduire la terre en plus de 5 fois.

2° De même certaines terres très organiques à la fois peu denses et peu mouillables ont tendance à flotter à la surface de l'eau. On attend alors un moment et on introduit la terre très lentement et par très petites fractions (5 g par exemple).

Lorsque le remplissage est terminé, on relie le tube à un bac d'alimentation à niveau constant contenant de l'eau distillée. La percolation se fait donc sous une charge constante.

L'eau de percolation recueillie pendant les 5 premières minutes est éliminée et on mesure le volume percolé pendant 1 heure.

Expression des résultats : On établit pour chaque échantillon le coefficient K

$$K = \frac{e \cdot V}{H \cdot S}$$

e = hauteur en cm de la colonne de terre (non compris évidemment les 20 mm de graviers).

V = volume en cc recueilli au cours de la première heure de percolation.

H = hauteur en cm dans le tube entre la toile filtrante (limite inférieure de la colonne d'eau) et la surface libre de l'eau.

S = section intérieure du tube en cm^2.

K s'exprime donc en cm d'eau/heure.

Les résultats obtenus varient de 30 à 40 cm/h dans le cas de rendzine jusqu'à 0 dans le cas de terres sodiques ou de marnes argileuses par exemple.

Exemple de calcul

e = 80 mm
V = 256 cc
H = 145 mm
S = 8 cm^2

$$K = \frac{6 \times 256}{14{,}5 \times 8} = 13{,}2 \text{ cm/h}$$

$$\log 10\, K = 2{,}12$$

Calcul de l'erreur.

e et h sont appréciés à 1 mm près ce qui conduit à une erreur relative moyenne pour l'ensemble de ces deux mesures égale à 2,5 p. 100.

Pour V l'erreur relative, que nous avons observée au cours de séries de mesures correctement exécutées, ne dépasse jamais 7 à 8 p. 100.

L'erreur relative qui entache l'évaluation de l'indice K est donc de 10 p. 100 au plus.

NB. — Seul intervient dans le calcul de K le volume recueilli de 5 mn à 1 h 05 mn le temps 0 correspondant à l'établissement de la charge.

Il est bon cependant de laisser percoler plusieurs heures de façon à suivre la variation de K en fonction du temps.

Certaines terres riches en sels solubles voient K décroître rapidement lorsqu'elles sont sodiques ou peut-être magnésiennes.

Lorsque la valeur de K diminue de plus de 40 p. 100 en deux heures, le jugement à porter sur l'échantillon devra être réservé, l'hystérésis d'humectation pouvant avoir perturbé son comportement. Ces cas correspondent à des terres très riches en argile ; ils sont assez rares et nous attendrons d'en avoir étudié un nombre suffisant pour préconiser un test qui leur soit adapté.

Valeurs de l'indice K *observées pour différents types de sols.*

Types de sols	K cm/h
Rendzine sur calcaire tendre	59,5
Terre de prairie à excellente structure	6,90
Terre de limon chaulée	4
Terre de limon sodique	1,2
Horizon A_2 de podzol (Orne)	0,4
Horizon profond de solonetz (Marais Rochefortais)	0

Il apparaît que l'amplitude de variation de K (de 0 à 60 cm/h) est tout à fait suffisante pour permettre un classement précis des différentes terres. Même un traitement relativement modéré (chaulage ou apport de nitrate sur une même terre de limon) fait apparaître une différence sans commune mesure avec la marge d'erreur inhérente à la technique utilisée.

IV. — COMPARAISON DES RÉSULTATS

Lorsque la mesure des agrégats et celle de K ont été effectuées, on dispose de deux valeurs pour caractériser le terrain, il s'agit de les combiner de manière à en tirer une impression d'ensemble. Si les deux séries de mesures étaient rigoureusement affectées par les mêmes facteurs, on devrait observer une relation inverse entre elles. Nous avons donc porté sur un graphique le coefficient d'instabilité et la perméabilité. Les points tendent alors à s'aligner sur des hyperboles asymptotes aux axes de coordonnées. Il n'est pas très commode dans ces conditions de bien juger de la position des points moyens, aussi avons-nous remplacé cette représentation par une représentation logarithmique et nous utilisons log 10 S et log 10 K. Les points ont alors tendance à se grouper autour d'une droite d'équation :

$$3 \log 10\, K + 2{,}5 \log 10\, S - 7{,}5 = 0$$

Les coefficients de cette droite correspondent approximativement à la droite de régression tracée à l'aide des 50 premiers points expérimentaux. Les coefficients ont été légèrement modifiés de manière à ce que l'on obtienne des chiffres ronds. Cette méthode de représentation est à substituer à l'indice proposé dans notre premier mémoire.

On constate que certains points s'écartent sensiblement de la droite. Il y a à cela plusieurs raisons. La première tient au fait que les différents facteurs de la stabilité structurale n'agissent pas de la même façon vis-à-vis des différentes méthodes. C'est ainsi que la présence d'ions alcalins ou d'un excès de sel influence plus fortement la perméabilité que la stabilité structurale. Au contraire, les matières organiques modifient beaucoup plus les résultats des analyses des agrégats que la perméabilité. Nous donnerons par la suite des exemples de ces comportements.

D'autre part, l'indice de stabilité peut se trouver faussé pour des rai-

sons techniques. Nous avons insisté à diverses reprises sur le fait qu'il était impossible d'apprécier correctement la dispersabilité d'une terre dans l'eau du fait de la floculation lente que manifestent les suspensions, non stabilisées physico-chimiquement, pendant la mesure elle-même. Cet inconvénient ne joue pas vis-à-vis de la mesure de perméabilité. Les points se trouvent donc placés correctement en ce qui concerne leur valeur de K, alors qu'ils sont déplacés vers la gauche du graphique, c'est-à-dire qu'ils apparaissent plus stables qu'ils le sont en réalité d'après la valeur de S. Il a fallu tâtonner pour tenir compte de ce double effet et nous pensons que la solution consiste à projeter les points sur la droite moyenne en faisant passer par ceux-ci une droite de pente inverse à celle de la droite de référence. On obtient alors un classement qui est déterminé par l'ordonnée du point ainsi défini sur la droite moyenne. Cette valeur sera présentée par la suite sous le symbole ζ.

Nous avions longuement insisté dans notre premier mémoire sur la difficulté que l'on éprouve à tester une méthode d'évaluation de la stabilité structurale. Nous avions fait remarquer que le seul procédé raisonnable consistait à vérifier que la méthode donnait un classement satisfaisant pour les types de terres ayant des comportements extrêmes et permettait, d'autre part, de mettre en évidence des différences obtenues sur un même sol à la suite d'application d'amendements ou par utilisation d'une culture ou d'une rotation améliorant la stabilité structurale. Nous avons procédé à cette vérification sur quelque 500 cas intéressant aussi bien des sols tropicaux que des sols nord-africains ou européens. Nous présenterons plus loin sur deux graphiques environ 150 points correspondant à des conditions de sol et de culture très variés. Nous commencerons par décrire un certain nombre de résultats correspondant à des observations effectuées à la suite de modifications de sols par application de diverses techniques culturales.

1° Influence des matières organiques et des systèmes de culture.

De nombreuses techniques culturales ont pour conséquence une variation du taux de matières organiques dans un sens ou dans un autre. La méthode que nous présentons nous a permis de chiffrer les modifications de stabilité structurale dues à ces pratiques.

a) **Défrichement.** — Un premier exemple nous a été fourni par l'évolution consécutive à un défrichement suivi de culture d'arachide sur sol ferrugineux tropical lessivé de texture sableuse en Casamance.

La mise en culture mécanisée a provoqué des phénomènes d'érosion hydraulique très spectaculaires et une dégradation des propriétés structurales des sols se manifestant spécialement par une marge très étroite de l'humidité permettant l'exécution de façons culturales. L'indice S est

passé de 1,75 sous forêt à 1,64 après un an de culture d'arachide. Le même indice descend à 1,40 après 6 ans de cultures consécutives, alors qu'il s'arrête à 1,44 après 6 ans, si on utilise l'assolement engrais vert, arachide, riz, arachide, qui introduit nue année sur 4 nue culture améliorante. De même après 3 ans de culture, l'introduction de 3 années de jachère ou d'un assolement jachère-engrais vert provoque une légère remontée de l'indice.

b) **Apports directs de matières organiques**. — L'un des exemples sera emprunté aux 42 parcelles du C. N. R. A. à Versailles.

L'indice passe de 1,38 dans une parcelle n'ayant reçu aucune fumure à 1,68 pour la parcelle recevant depuis 1928 une dose annuelle de fumier de ferme correspondant à 100 t/ha.

L'indice étant exprimé en logarithme, cela revient à dire que la stabilité de la structure a doublé bien que la terre soit maintenue nue et binée.

Comme nous l'avons signalé plus haut, les effets dus aux apports de matières organiques sont nettement mis en évidence par l'analyse des agrégats, alors qu'ils influencent beaucoup moins le test de percolation. Ceci reste vrai quel que soit le type de matière organique apporté. Par exemple, le traitement d'un sol de limon par un conditionneur de sol de type polyacrylate comme le krilium augmente nettement la stabilité des agrégats, le coefficient K étant peu affecté. Le même résultat a été obtenu à partir du traitement d'un limon par un extrait de luzerne fraîche au cours d'un essai de pédologie expérimentale.

L'introduction de prairies temporaires dans l'assolement, qui constitue une technique de plus en plus utilisée ces dernières années pour la régénération structurale des sols de vieille culture, fait actuellement l'objet d'une série d'observations et de mesures au laboratoire. Dès maintenant, l'emploi des 2 séries de tests conjointement, nous permet d'estimer l'accroissement considérable de stabilité des terres. Le tableau ci-dessous donne un ordre de grandeur de cette amélioration.

	S	K	M. O. %
	—	—	—
Prairie de 3 ans 0 – 15 cm (moyenne) ...	2,95	2,85	1,65
Témoin 0 – 15 cm (moyenne).....	8,62	2,20	1,42

Il est possible, dans le cas particulier des prairies, d'évaluer les variations de stabilité structurale en fonction de la profondeur et de la plante dominante en se basant uniquement sur le taux d'agrégats stables au benzène A_b p. 100. Ceci à condition d'opérer sur un champ d'essai homogène au départ et dont le sol présente une granulométrie constante sur une trentaine de centimètres au minimum. Le tableau ci-dessous en donne un exemple :

Pourcentage d'agrégats stables (prétraitement benzène).

Profondeur	Ray-grass	Fétuque Fléole	Dactyle	Témoin
—	—	—	—	—
0 – 5	14,2	9,6	5,4	2,4
5 – 10	3,7	4,0	3,7	2,5
10 – 15	3,0	2,3	2,5	2,4
15 – 20	2,2	2,3	2,2	2,2
20 – 25	2,1	2,1	2,1	2,1
25 – 30	1,2	1,5	1,3	1,2

Dans tous les cas que nous avons cités dans ce paragraphe, la méthode utilisée et spécialement l'analyse des agrégats après 3 prétraitements, nous a permis de distinguer d'une manière assez sensible et fidèle des variations sur un même sol dues à des modifications du taux ou de la quantité des matières organiques provoquées, soit par des apports directs, soit sous l'influence de systèmes de culture, notamment de rotations comportant une phase améliorante.

2° Influence du calcium et du sodium sur la stabilité structurale du sol.

Comme nous le verrons plus loin, l'influence des cations sur la stabilité des différents types de sol est extrêmement nette.

Les sols dont l'évolution est marquée par la présence de Na (solonetz, sols à alcalis, etc.) ont une stabilité structurale médiocre ou mauvaise, alors que les sols du groupe des rendzines par exemple présentent une stabilité remarquable.

De plus, la méthode utilisée s'est révélée suffisamment fine pour nous permettre de mettre en évidence les variations de stabilité provoquées sur un même sol par des traitements ménagés.

Dans les « 42 parcelles de Versailles » l'indice est de 1,19 après 30 ans d'apports de sylvinite alors qu'il atteint 1,39 pour le témoin et 1,50 pour la parcelle chaulée.

Cette variation est particulièrement évidente si on considère le seul coefficient K (voir tableau).

Traitement	log 10 K	log 10 S
—	—	—
Na	1,10	1,46
T	1,44	1,42
Ca	1,60	1,35

En fait, le comportement du sol *in situ* et la mesure au laboratoire de la porosité des mottes sont en corrélation avec les valeurs correspondantes du coefficient K.

Autre exemple confirmant ce point de vue : dans une orangeraie algé-

rienne dont une partie a été gâchée par l'utilisation d'eau salée pour l'irrigation, c'est le coefficient K également qui permet de traduire le plus fidèlement le comportement du sol en place (voir tableau).

Désignation	log 10 K	log 10 S
gâché.....	1,20	1,36
non gâché..	1,70	1,46

D'autres résultats ont été obtenus également après un an par le plâtrage de terres salées des marais de la région de Rochefort. Parallèlement à une évolution sur le terrain des propriétés physiques (meilleure fragmentation des bandes de labour, meilleur ressuyage des eaux de surface) on constate une augmentation très nette de l'indice.

Le tableau suivant rassemble quelques-uns des résultats obtenus.

Désignation	log 10 S	log 10 K	Σ
Saint-Hippolyte			
plâtre	0,86	1,38	1,58
sans plâtre.....	1,23	0,26	0,87
Le Guâ			
plâtre	0,93	0,63	1,18
sans plâtre.....	1,50	0,38	0,82
Breuil-Magné			
plâtre	1,15	1,39	1,46
sans plâtre.....	1,91	0,88	0,89

En vraie valeur la stabilité structurale a triplé en moyenne. Cette variation affecte à la fois S et K probablement parce qu'à la substitution de Ca^{++} à Na^{+} s'ajoute une action du plâtre sur les matières organiques peu évoluées présentes dans ces terres. De plus, il s'agit ici d'un cas assez extrême, les terres étant initialement, spécialement dans les essais 2 et 3, très riches en sodium.

3° Application à l'étude de la méthode du drainage-taupe.

La stabilité des galeries creusées par la charrue-taupe est un moyen d'apprécier la stabilité structurale des sols en place. Ce n'est pas, toutefois, un procédé simple. En effet, la longévité d'une galerie dépend d'abord de l'humidité du sol et de l'état de la terre quand elle a été tracée. Elle dépend ensuite des conditions de fonctionnement du drainage, quand la pente du drain est trop forte la terre s'érode, si la pente n'est pas assez forte ou si le drain est trop long il risque de s'ensabler. Il en va de même si la sortie de la galerie est écrasée par le bétail. Nous avons examiné environ 25 drainages-taupe, effectués dans différentes régions françaises sur des types de sols très variés. L'examen de la stabilité structurale de la terre au niveau des galeries permet d'en prévoir approximativement le comportement.

Voici pour une série de drainages ayant de 4 à 5 ans d'existence au moins les chiffres donnés par la méthode d'évaluation de la structure.

Drainage-taupe.

	N° de l'observation	log 10 K	log 10 S
	—	—	—
Drainage très bon état.....	4	1,83	0,87
	11	1,68	0,90
	6	1,54	0,71
	12	1,47	0,77
	16	1,56	0,72
Drains complètement obturés	17	0,85	2,01
	21	0,69	1,79
	23	0,92	1,74
	19	0,92	1,60
	20	0,86	1,64

On voit que dans tous les cas où les drains sont restés en bon état 4 ans après leur tracé, la percolation est bonne, le chiffre le plus faible pour log 10 K étant 1,47, au contraire la valeur la plus élevée pour le drain obturé n'est que de 0,92. De même on trouve un indice d'instabilité (log 10 S) qui est au maximum de 0,90 pour les drains en bon état et au minimum de 1,60 pour les drains bouchés. Le test d'instabilité paraît donc un indice plus fidèle dans ce cas que le test de percolation, le résultat montre que la méthode est valable.

4° Étude de l'ensemble des résultats.

Les exemples précédents ont montré le parti qu'on pouvait tirer de l'indice global et de ses deux composantes S et K.

Dans le graphique n° 1, nous avons rassemblé les points représentatifs de la stabilité structurale d'une centaine de sols provenant d'Europe et d'Afrique du Nord. Ces sols ont été groupés en grandes catégories d'après le ou les déterminants principaux de leurs propriétés physiques, des divers types de matières organiques, calcaire, granulométrie, sodium, etc.

On peut remarquer que les différents types ne se répartissent pas indifféremment le long de la droite de régression.

Parmi les meilleures stabilités structurales, le groupe des rendzines se différencie du groupe des sols de prairie acide par un indice K supérieur. Les sols de limon neutre, bien pourvus en calcium, sont groupés au-dessus de la partie moyenne de la droite. Lorsque ces limons ont été enrichis en matières organiques (prairie, traitement au krilium, apports de fumiers) leur indice S augmente sensiblement, K étant peu affecté. Ils sont alors groupés légèrement au-dessous de la droite.

Les terres sodiques se situent généralement vers les très mauvaises stabilités et pour la plupart d'entre elles en dessous de la droite. Cette dernière particularité provient de la sensibilité de K au sodium du com-

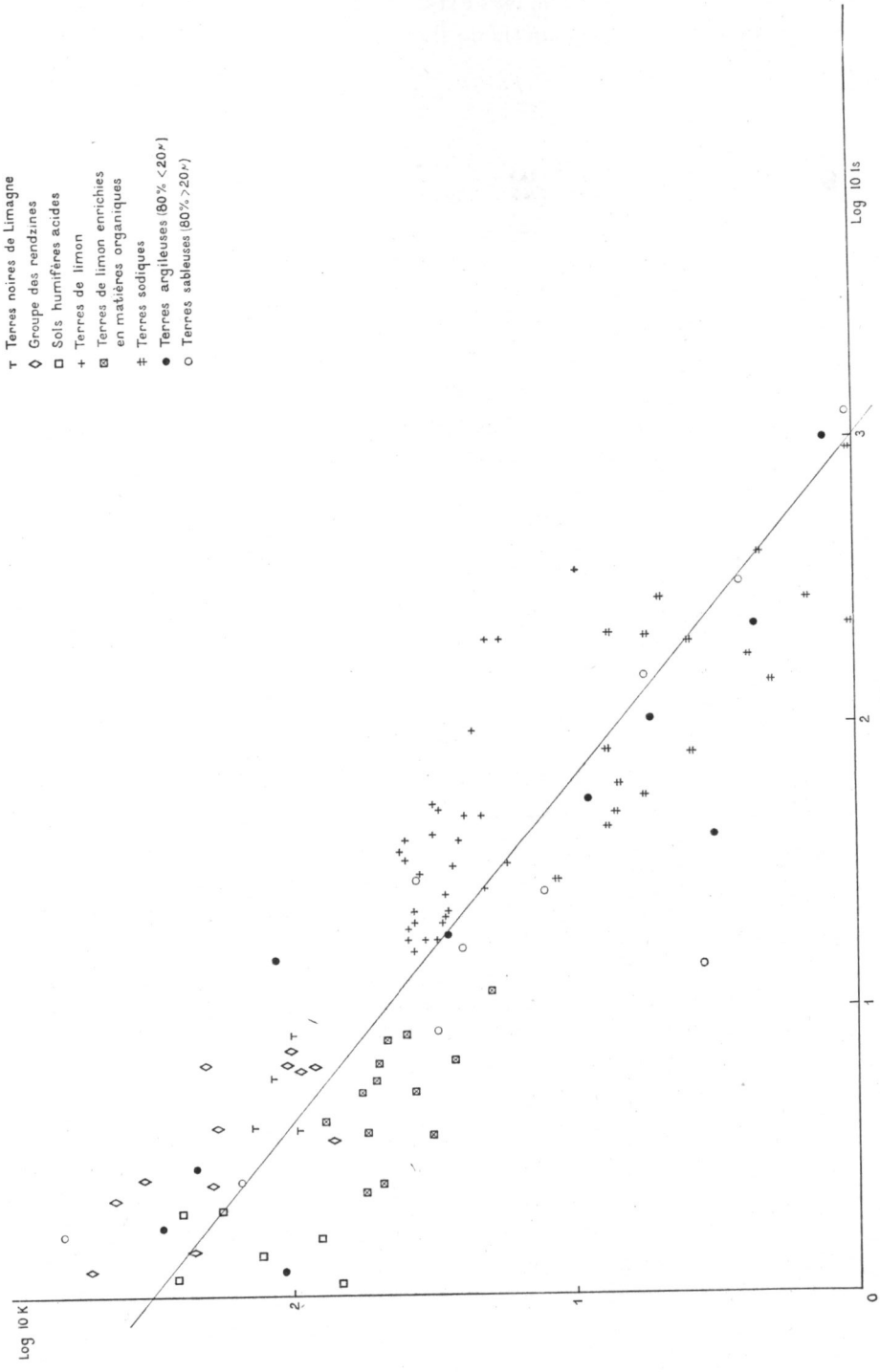

T Terres noires de Limagne
◇ Groupe des rendzines
□ Sols humifères acides
+ Terres de limon
⊠ Terres de limon enrichies en matières organiques
Terres sodiques
● Terres argileuses (80% <20µ)
○ Terres sableuses (80%>20µ)
Log 10 K
Log 10 Is
0
1
2
3

FIG. 1.

plexe et au fait que la mesure de comme nous l'avons dit, souvent faussée par la floculation lente causée par la présence de sels solubles, le résultat obtenu pour la fraction dispersée $< 20\,\mu$ est sujet à caution même après stabilisation partielle de la suspension par addition de citrate Na en solution normale.

Nous avons également fait figurer sur le graphique n° 1 un certain nombre de points représentant les uns des sols très sableux, les autres des sols très argileux. Comme on peut le voir l'un et l'autre groupe se répartissent le long de la droite de régression. Ceci souligne le fait que l'étude granulométrique d'une terre est dans la plupart des cas tout à fait insuffisante pour rendre compte de ses propriétés physiques. Il suffit dans un sol où les éléments grossiers prédominent d'une faible quantité d'éléments fins (limons ou colloïdes aisément dispersables) pour que les propriétés physiques deviennent très mauvaises, en l'absence de matières organiques. En place, de tels sols se révèlent compacts, très facilement battants et imperméables en hiver, ne drainant pas par toute leur masse, mais seulement à la faveur d'accidents comme passages de racines ou d'animaux. Inversement, certaines terres très riches en éléments fins colloïdaux peuvent en l'absence d'éléments défavorables (Na^+ ou calcaire fin) se comporter comme des terres sableuses, faciles à travailler, se ressuyant rapidement.

5° Étude de profils de podzols et de sols tropicaux.

Le graphique n° 2 illustre l'adaptation de la méthode à l'étude des terres tropicales quelle que soit leur origine. La répartition le long de la droite des sols du Cameroun rend compte d'une évolution des propriétés structurales de sols sur basalte parallèlement à leur latéritisation. Le premier groupe qui s'échelonne entre les valeurs Σ de 2,2 et 2,5 est composé de sols jeunes dont la structure grumeleuse est caractéristique. Le deuxième groupe (1,6 à 2) englobe des sols sur basalte plus ancien du type brun à brun rouge en voie de latéritisation. Enfin, le dernier groupe (1,0 à 1,3) est formé par des sols ferralitiques typiques très sensibles à l'érosion.

Profils	Horizons	Profondeur	S	K
		cm		
Podzol de Roupeyroux (Orne) ...	A_1	5 - 20	0,09	95
	A_2	30 - 55	6,84	0,4
	B_1	55 - 68	0,14	16,6
	B_2	80	1,62	0,8
Podzol de Perceigne (Orne)	A_1	7 - 10	0,08	85
	A_2	15 - 25	1,4	1,5
	B_1	30	0,1	18,1
Podzol de la forêt d'Écouve (Orne).	A_1	7 - 15	0,22	20,8
	A_2	35 - 50	11,5	0,5
	B_1	60 - 70	0,09	21,4

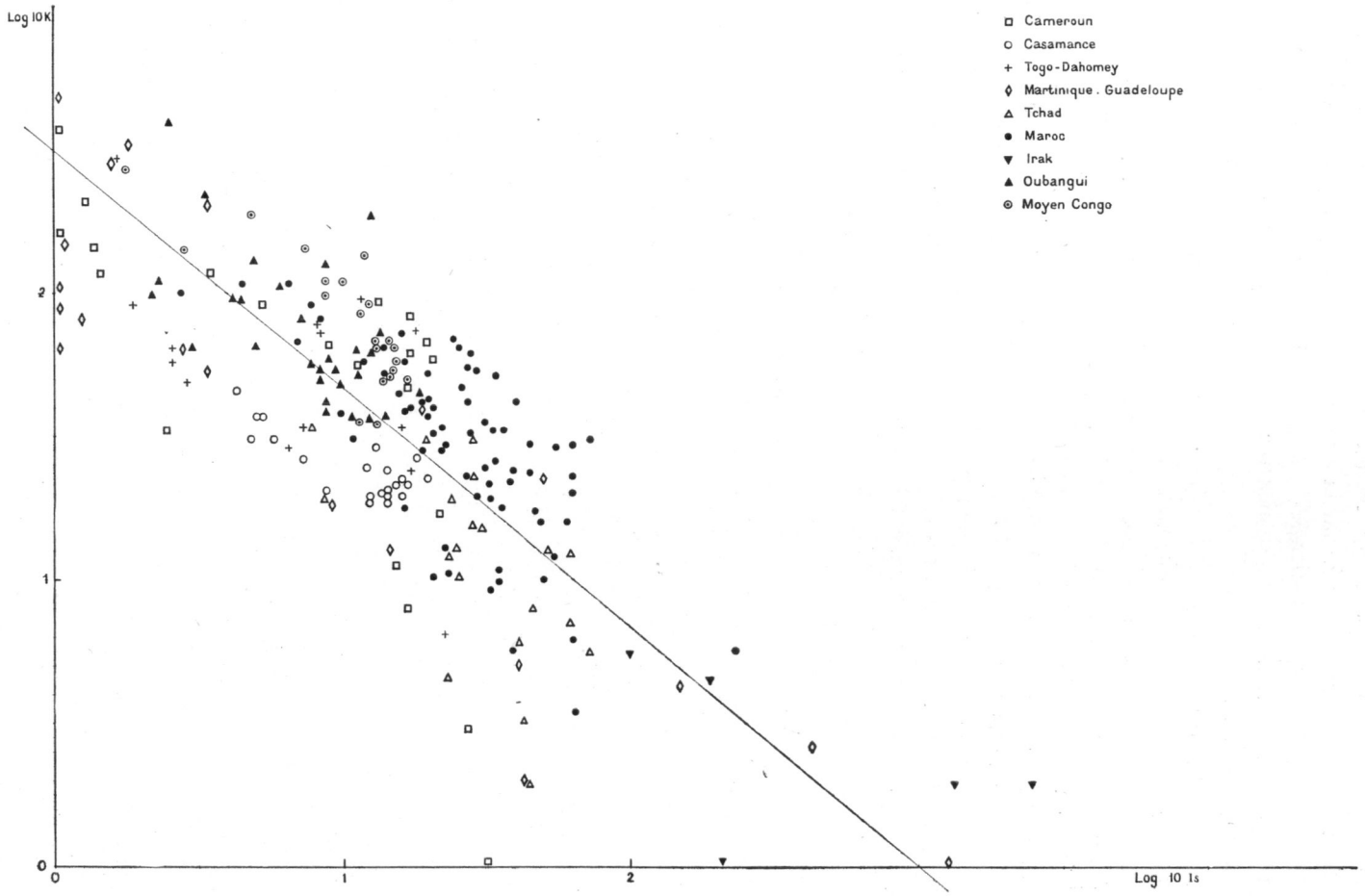

Log 10 K
2
1
0
0
1
2
Log 10 Is
Cameroun
Casamance
Togo-Dahomey
Martinique. Guadeloupe
Tchad
Maroc
Irak
Oubangui
Moyen Congo

FIG. 2.

De même pour les sols du Maroc on retrouve dans le sens des stabilités décroissantes et étroitement en rapport avec le comportement des terres *in situ* des sols rendzinoïdes, des sols « tirsifiés », des sols châtains, des sols rouges complètement décalcarifiés, enfin des sols salés des lagunes côtières.

Ces méthodes ont également été utilisées pour étudier les différents horizons des sols podzoliques. C'est là un problème particulièrement important car, en pratique, on a parfois abouti à de graves échecs en remontant en surface les horizons ayant une mauvaise stabilité structurale. Le tableau ci-dessus présente les résultats obtenus à partir de 3 profils. On constate que si les horizons A_1 ont une structure stable, par contre l'horizon A_2 à structure cendreuse présente une très mauvaise stabilité. Les différences obtenues sont considérables et mettent bien en évidence le comportement typique des sols podzoliques. Dans ce cas encore les techniques proposées permettent de faire apparaître un comportement éprouvé par l'expérience *in situ*.

V. — CONCLUSIONS

Nous aboutissons ainsi à proposer une série de tests dont l'ensemble mesure la stabilité structurale d'une terre.

Les trois techniques permettant d'apprécier la stabilité des agrégats par tamisage font ressortir l'influence des matières organiques et dans une certaine mesure celle de la composition granulométrique. Contrairement à ce que certains auteurs ont avancé la stabilité structurale ne dépend pas uniquement de cette composition granulométrique. En effet, pour une composition donnée du sol, la stabilité structurale est profondément affectée par toute une série de variables telle que la quantité et la nature des matières organiques, la nature des bases échangeables, la présence de sels libres, etc. Par contre, il est exact que les sols riches en éléments fins, en limon en particulier, acquièrent difficilement une bonne stabilité structurale : l'utilisation de ces trois méthodes est donc nécessaire. Il y a bien longtemps qu'on avait reconnu la nécessité de disposer à côté des méthodes du type A, permettant de déterminer la granulométrie, des méthodes de type B évaluant les agrégats, c'est-à-dire la stabilité structurale. Nous estimons que notre méthode démontre que ce dernier espoir ne correspondait pas à la réalité puisque l'analyse des agrégats seule ne permet pas d'apprécier le comportement des sols en place.

Les mesures de stabilité des agrégats que nous proposons mettent en évidence l'influence des divers facteurs de la stabilité. Le test de percolation apporte des éléments complémentaires tout en permettant de corriger les erreurs commises en appréciant la dispersabilité du milieu du

fait du manque de stabilité des suspensions obtenues en agitant la terre au contact de l'eau.

Nous avons vu d'ailleurs que le comportement des terres traitées par différents procédés permet de justifier cette manière de voir.

Il ne faut pas oublier qu'il s'agit d'une méthode de laboratoire et qu'il faut tenir compte, pour juger du comportement du sol en place, des conditions climatiques. Une terre, dont le comportement structural pourra être considéré comme suffisant sous un climat donné, pourra devenir insuffisant sous un autre climat ou quand on lui applique les quantités d'eau d'irrigation abondantes.

Ceci s'applique, bien entendu, aux sols fournissant les résultats moyens et pose la question de la finesse et de la précision de la méthode. Ce sont toutefois deux qualités qu'il est difficile d'apprécier. Certes, on peut juger au laboratoire de la fidélité de la méthode en la répétant sur plusieurs échantillons d'un même prélèvement. Étant donné la variabilité des sols en place, il est déjà plus délicat de juger de ces qualités en opérant sur des prélèvements différents provenant d'un même champ. Quand il faut en plus apprécier la stabilité structurale du sol en place, la comparaison devient extrêmement délicate puisque, même si l'on pouvait évaluer ces propriétés avec beaucoup de précision, elles n'en dépendraient pas moins du climat de l'année. C'est donc uniquement en répétant les observations qu'il sera possible de porter un jugement valable sur la méthode. C'est pourquoi nous nous sommes efforcés d'examiner des sols extrêmement différents placés sous des climats variés. Actuellement, la comparaison paraît satisfaisante.

Remarquons, enfin, qu'une méthode de mesure de la stabilité de la structure constitue un outil extrêmement précieux. On dispose actuellement de méthodes qui, bien qu'encore imparfaites, permettent néanmoins d'apprécier d'une manière assez satisfaisante les possibilités d'alimentation offertes au végétal. Ces méthodes sont à la base de l'emploi rationnel des engrais. Or, de plus en plus, il devient nécessaire de pouvoir juger des propriétés physiques du sol ; celles-ci commandent le système de culture. C'est pour obtenir un bon état physique qu'il est nécessaire d'adopter une rotation donnée. C'est à cause de ces propriétés physiques qu'il faudra travailler la terre à une époque ou dans des conditions bien déterminées ou qu'on pourra la soumettre à tel ou tel type d'irrigation. Le succès du sous-solage, du drainage-taupe, les qualités de l'eau d'irrigation, l'efficacité du drainage, dépendent dans une large mesure de la stabilité structurale des sols. C'est le complément indispensable des méthodes d'appréciation de la structure sur le sol en place. Nous estimons, par voie de conséquence, qu'il est indispensable d'appliquer ces techniques à tous les problèmes posés par l'aménagement du sol et le choix des systèmes de culture et c'est pourquoi nous nous sommes efforcés dans ce travail de varier dans la mesure du possible les conditions de vérifications.

RÉSUMÉ

Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols

Une méthode basée sur le seul principe de l'analyse des agrégats (tamisage humide) est insuffisante pour évaluer correctement la stabilité structurale des terres. Il convient de lui adjoindre une étude du comportement du sol en milieu concentré.

Après une description détaillée des deux types de méthode, il est présenté une série de résultats qui rendent compte des modifications de stabilité structurale provoquées par diverses techniques culturales. La comparaison de ces données justifie l'emploi des deux séries de tests conjointement. Les méthodes préconisées permettent un classement des sols quelle que soit leur origine. Ce classement reproduit fidèlement le comportement « in situ » des terres.

SUMMARY

Method for the study of structural stability of soils

A method based only on aggregate analysis (wet sieving) is inadequate for a correct evaluation of the structural stability of soils. A study of the behaviour of soil in concentrated medium should also be undertaken.

The two types of technique are described in some detail and a number of results are presented showing the changes of structural stability under different methods of cultivation. Comparison of the data justify the simultaneous application of both tests. The methods suggested make it possible to classify the soils regardless of their origin, closely reflecting the « in situ » behaviour of the soils.

РЕЗЮМЕ

Метод изучения устойчивости почвенной структуры.

ХЭНЭН и МОННЬЕ.

Метод основанный на принципе анализа агрегатов (мокрое сито) недостаточен, чтобы правильно определить устойчивость почвенной структуры. Он должен быть пополнен изучением поведения почвы в концентрированной среде.

После подробного описания этих двух методов, представлена серия результатов, которые позволяют отдать себе отчет в изменениях почвенной структуры вызванных различными техниками (= способами) обработки почвы. Сравнение этих данных оправдывает одновременное (параллельное) употребление этих двух серий определений.

Указанные методы позволяют классификацию почв, каково бы то ни было их происхождение. Эта классификация точно соответствует поведению почв «на месте» (то-есть, в полевых условиях).

ZUSAMMENFASSUNG

Methode zur Untersuchung der Strukturbeständigkeit der Boden

Eine nur auf das einzige Princip der Krümelanalyse (feuchtes Sieben) gegründete Methode ist unzureichend um richtig die Strukturbeständigkeit der Böden zu schätzen. Man muss noch eine Untersuchung des Betragens des Bodens in konzentrierter Lösung hinzufügen.

Nach einer gründlichen Beschriebung dieser beiden Methodentypen, wird eine Anzahl von Ergebnissen, die die Veränderungen der Strukturbeständigkeit durch verschiedene Anbaumassnahmen veranschaulichen, gegeben. Der Vergleich dieser Angaben rechtfertigt die gleichzeitige Anwendung dieser beiden Testtypen. Die vorgeschlagenen Verfahren geben die Möglichkeit die Böden zu ordnen und zwar unabhängig von ihrer Entstehung. Diese Einteilung widerspiegelt treu das Benehmen des Bodens auf dem Felde.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

HENIN (S.), ROBICHET (O.) et JONGERIUS (A.). — Principes pour l'évaluation de la stabilité structurale des sols. *An. Agr.*, nº 4, 1955.

HENIN (S.) et MONNIER (G.). — Évaluation de la stabilité structurale du sol. VIe Congrès International de la Science du Sol. Paris, 49 B, 1956.

HENIN (S.) et MONNIER (G.). — Sur le travail profond et sans retournement des sols. *C. R. Ac. Agr.*, nº 17, 19 déc. 1956.

MONNIER (G.). — Influence des prairies temporaires sur la structure d'un sol de limon. *C. R. Ac. Agr.*, nº 4, 20 fév. 1957.

HENIN (S.) et FEODOROFF (A.). — *A paraître.*

DEMOLON (A.) et BASTISSE (E. M.). — *An. Agr.*, 1945.

QUELQUES PHÉNOMÈNES D'ÉROSION EN PICARDIE

PAR

Pierre LEFÉVRE

Station d'Agronomie, Amiens

PLAN DU MÉMOIRE

Introduction.

I. — Observations et enquête.

A. — Érosion hydraulique.

1. — Orages de printemps.
2. — Orages de fin d'été.
3. — Automne.
4. — Dégels et fonte de neige.

B. — Érosion éolienne.

a) Au printemps.
b) En été.

C. — Érosion « insidieuse ».

D. — Cultures intéressées et effet sur les rendements.

II. — Facteurs créant l'érosion.

III. — Facteurs favorisant l'érosion.

Résumé et conclusions.

INTRODUCTION

Suivant l'opinion généralement admise, il semblerait que l'érosion n'ait aucune importance dans la région picarde. Les géographes dans leurs ouvrages (1, 7) ont coutume de parler de la « plaine » ou du « plateau picard » ; ils n'accordent que quelques mots pour les vallées et passent rapidement sur ses « fosses ». La désaffection touristique — à la différence de l'intérêt dont jouit la région similaire des Downs en Angleterre (8) — n'incite pas à réviser ce jugement sur un pays qui passe pour mollement vallonné par les ondulations des vallées sèches.

Au point de vue agronomique, le Santerre, partie relativement plate, ayant toujours été connu pour sa richesse, tend à représenter le tout et contribue à maintenir la notion de la « plaine picarde ».

En réalité, l'examen de la carte d'état-major et, mieux, de la carte

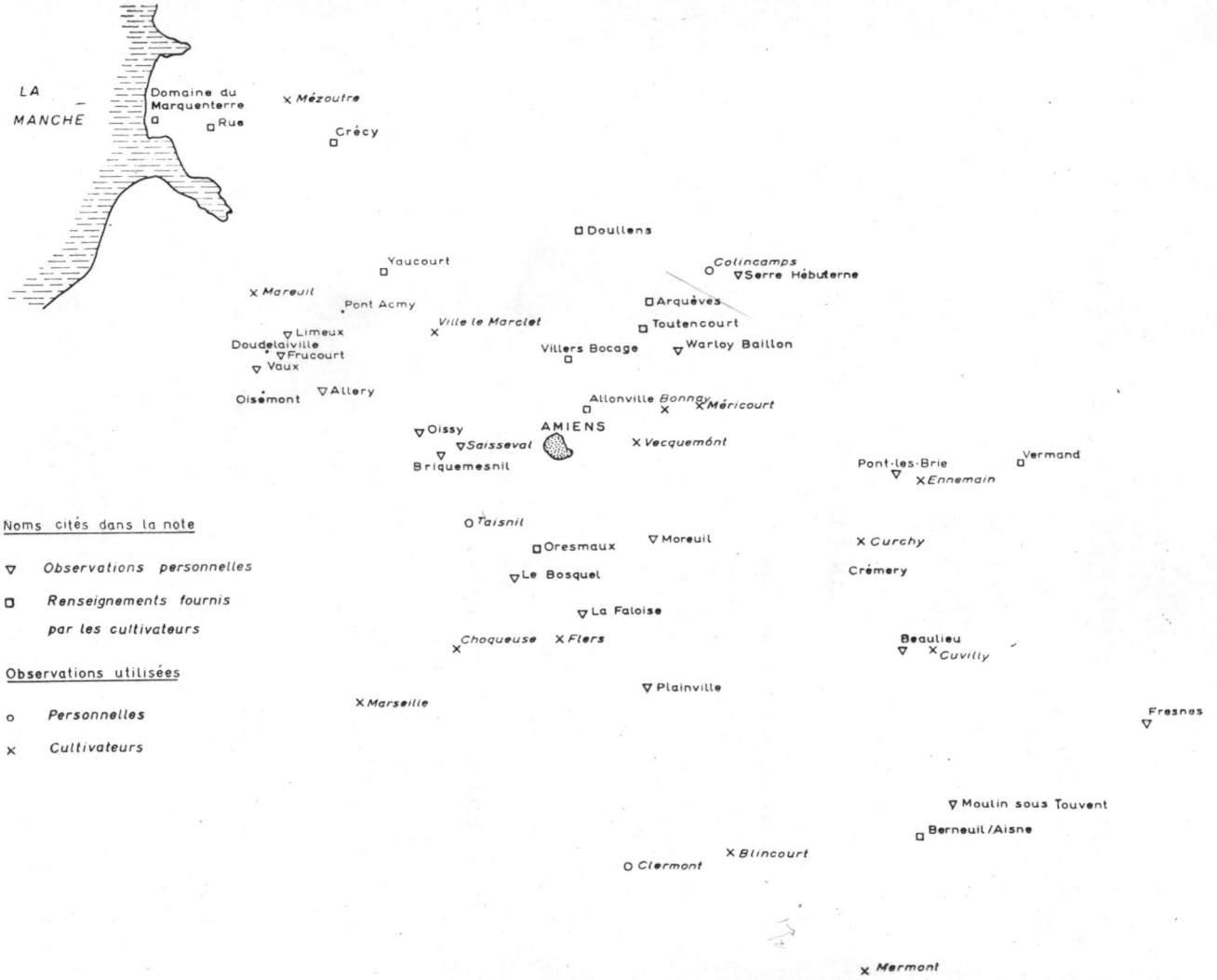


Fig. 1. — Carte indiquant les localités où des cas d'érosion ont été observés.

géologique, fait apparaître l'existence de nombreuses pentes plus ou moins fortes.

Si en d'autres régions, au sol plus pauvre, les pentes sont boisées ou en pâturages permanents, ici, rares sont les versants garnis d'une couverture végétale pérenne de rapport plus faible, alors que beaucoup plus nombreux sont ceux périodiquement labourés et travaillés pour des cultures annuelles.

Ce fait crée des conditions favorables à la dégradation des sols non horizontaux dès que certains facteurs sont réunis. C'est ainsi que l'érosion se manifeste, à intervalles plus ou moins rapprochés, avec des effets qui, pour être moins spectaculaires que ceux observés, par exemple, dans les zones accidentées méditerranéennes, méritent cependant de retenir l'attention.

Dans cette note, nous présenterons d'abord les observations les plus typiques que nous avons faites. Celles-ci en nous amenant à passer en revue les facteurs qui créent et favorisent l'érosion, nous conduiront à rechercher les éléments sur lesquels l'agriculteur peut agir de manière à limiter la dégradation des sols.

I. — OBSERVATIONS ET ENQUÊTE

Nous traiterons d'abord l'érosion hydraulique puis l'érosion éolienne. Pour suivre un ordre précis, il a semblé logique d'adopter l'ordre saisonnier en commençant avec le réveil de la végétation, continuant par l'été puis l'automne et terminer par les faits observés en hiver.

A. — Érosion hydraulique.

1. — Orages de printemps.

De nombreux déplacements dans la région nous ont permis de constater que les orages de printemps survenant trop peu de temps après les semis, provoquent des dégâts dès que la pente est suffisante, les inconvénients résultant d'un « glaçage » du sol n'étant signalés que pour mémoire.

a) **Avant la levée de certains semis (betteraves, endives).**

Comme nous l'avons observé, la terre roulée facilite l'action érosive des orages par formation rapide d'une couche superficielle battue et imperméable.

L'entraînement de terre est aisé en surface, mais la couche tassée en

(1) Au cours de nos tournées, nous avons vu 20 cas d'érosion par l'eau et 3 par le vent. L'enquête auprès des agriculteurs, a fourni 15 réponses positives à nos questionnaires ; 15 cas supplémentaires d'érosion par l'eau et 4 par le vent nous ont été signalés dans la conversation. Enfin dans 10 cas (dont 3 de sols en pente) il n'y avait pas d'érosion (photos de l'auteur).

se glaçant, oppose un plan assez résistant à l'action de l'eau, sur lequel celle-ci coule. Par contre, l'infiltration étant, par là-même, freinée, dès que l'eau parvient à ouvrir des fissures dans le sol, l'entraînement de terre progresse rapidement en raison de l'importance de l'écoulement.

Moulin-sous-Touvent. — Ainsi en 1952 à Moulin-sous-Touvent (Oise) une pluie de 16 mm, ayant duré au plus une heure, a creusé des rigoles atteignant 5 cm de profondeur et 10 cm de largeur sur un limon ayant 2 à 3 p. 100 de pente (figure 2).

En certains points de la pièce, les betteraves qui levaient ont été entraînées.

Warloy-Baillon. — En 1954 (20 juin) près de Warloy-Baillon (Somme) un même phénomène a eu lieu à la suite d'un orage, accompagné d'une pluie torrentielle, ayant fourni 29 mm d'eau en 2 h. 30.

Le sol était très « battu », de grandes « coulures » sur toute la surface du champ indiquaient que l'eau avait coulé en nappe et creusé en certains endroits des rigoles larges de 15 cm et profondes de 5 cm, dimensions atteignant en certains points 30 et 8 cm respectivement (voir le bloc diagramme figure 3 et les figures 4-5 (photos).

La terre balayée à la surface du champ et arrachée dans les ravines, avait formé une mare de boue en bas de celui-ci. Le temps, relativement sec, qui suivit cet orage, permit à cette vase de se fendiller, par plaquettes de 2 cm d'épaisseur laissant voir un premier dépôt plus grossier, épais de 5 à 8 mm.

Le craquèlement de cette vase empêcha l'asphyxie des endives qui levaient.

L'analyse du sol du haut (5358), et du bas de la pente (5357), de l'alluvion au contact du sol (5356), et des plaquettes (5355) fait apparaître les résultats suivants : (‰ de terre fine sèchée à 105° c)

	5 355	5 356	5 357	5 358
Cailloux et graviers	1	7,5	32	92
Argile	308,7	188,9	189,4	172,7
Limon	391,5	238,4	198,9	182,1
Sable fin	191,8	480,6	551,8	501,7
Sable grossier	1,1	4,5	18,6	47,4
Matières organiques	62,8	48,3	39,8	41,1
Calcaire	33,4	33,6	7,3	70,2
Azote	3,26	2,43	2,08	2,05
P_2O_5 assimilable	0,10	0,09	0,32	0,43
K_2O échangeable	0,32	0,18	0,16	0,13
pH	8,2	8,25	7,9	8,1

Dans ce fond où toute l'eau plus ou moins boueuse écoulée s'est rassemblée et infiltrée, l'alluvion — et plus encore sa partie supérieure en plaquettes — est plus riche en argile et limon que le sol d'origine. Sables fin et grossier sont en proportions plus faibles ; les matières organiques suivent le sort de l'argile, le calcaire, celui du sable.

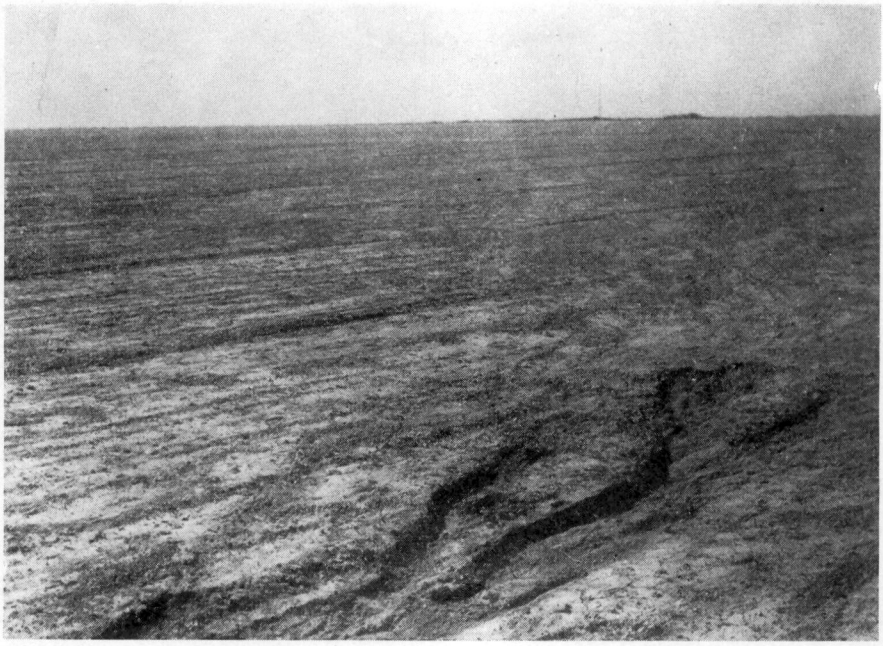


FIG. 2. — Moulin-sous-Touvent. Rigoles dans une pièce semée en betteraves.

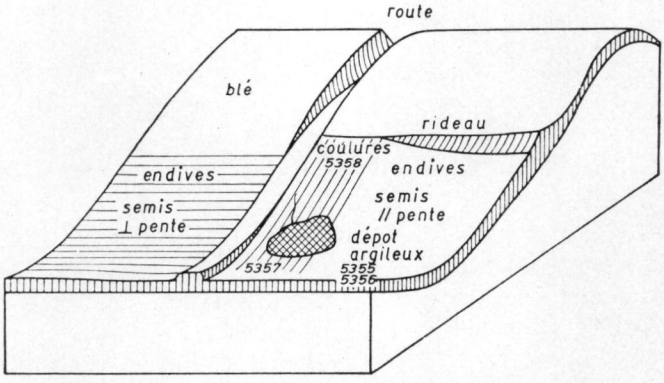


Fig. 3. — Bloc diag. de Warloy Baillon les nombres indiquent les numéros des analyses

FIG. 4. — Warloy-Baillon. Rigoles dans une pièce d'endives

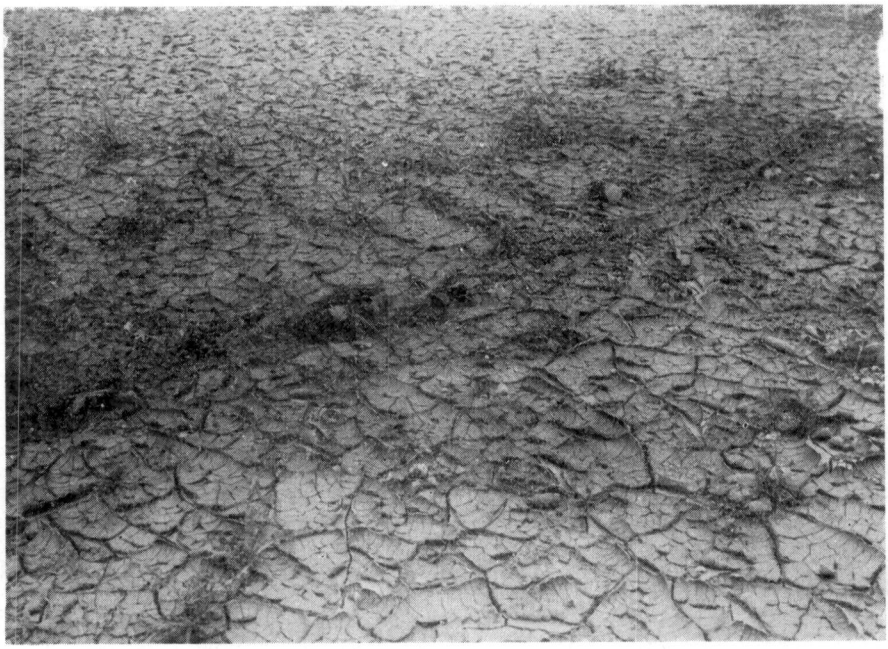


FIG. 5. — Warloy-Baillon. Fendillement de la mare de boue en bas du champs de la fig. 2

Au point de vue chimique, chose remarquable, malgré sa teneur plus élevée en matières organiques et un taux de calcaire relativement important, le dépôt a une teneur nettement inférieure en acide phosphorique assimilable.

Les observations concernant les environs immédiats de cette pièce semée en lignes suivant la pente, amènent les remarques suivantes :

— à quelque distance, la présence d'un "rideau" recoupant la pente annulait, au-dessous de lui, tout effet de l'érosion ;

— de l'autre côté de la route, sur une pente sensiblement égale une pièce d'endives légèrement plus fortes, semées transversalement à la pente (et avec plus de mauvaises herbes) était simplement battue, mais sans dépôt d'alluvions en bas de pente.

b) **Betteraves au démariage :**

Sur le D. 62 entre *Pont-les-Brie* et Saint-Christ, 4 et 5 juin 1955. Dans cette pièce qui présentait la disposition d'un livre ouvert posé sur un pupitre, la pente de ce dernier étant, d'après le plan directeur, d'environ 10 m pour 200 m, les betteraves, démariées, avaient de 4 à 6 feuilles.

Les orages du 4 et 5 juin 1955 ont fourni 24 et 17 mm de précipitations.

Le thalweg, légèrement sinueux, formé par la rencontre des deux pentes, a servi de collecteur et une rigole s'est creusée, bien marquée sur 50 m de long. Le dépôt définitif, en bas de pente, mesurait environ 10 × 20 mètres avec une épaisseur maximum de 8 à 10 cm.

L'alluvion (5384) renfermait moins d'argile et de limon mais plus de sable fin et de calcaire que la zone de départ (5383) :

	5 383	5 384
Cailloux et graviers	17	
Argile	189,7	161,8
Limon	161,0	146,4
Sable fin	590,0	611,0
Sable grossier	3,5	7,6
Matières organiques	27,4	29,8
Calcaire	13,9	36,6
Azote	1,36	1,29
Acide phosphorique assimilable	0,37	0,44
Potasse échangeable	0,17	0,17
pH	7,9	8,0

La raison de la diminution des éléments les plus fins, est qu'une partie de l'eau chargée de terre s'est évacuée, par la route, vers les marais situés en contrebas.

La pente. — Extérieurement au thalweg, les lignes de betteraves semées suivant la pente ont favorisé (après démariage) la création de rigoles primaires larges de 2 à 5 cm, profondes de 1 à 2 cm. La terre entraînée s'est déposée, soit en petites nappes sur les ruptures de pente, soit en bout de route à la rencontre de la fourrière en formant des amas de 3 cm d'épaisseur et de quelques mètres à quelques dizaines de mètres carrés (fig. 6 et 7).

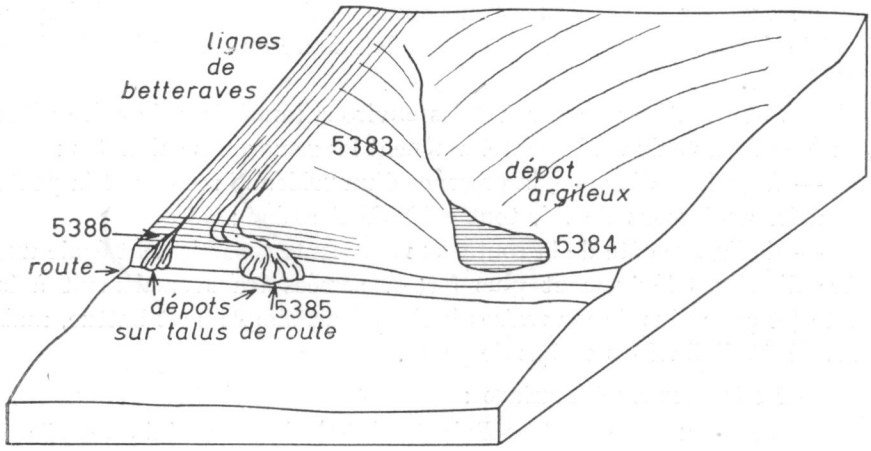


Fig. 6. — Bloc diagramme de Pont-les-Brie.

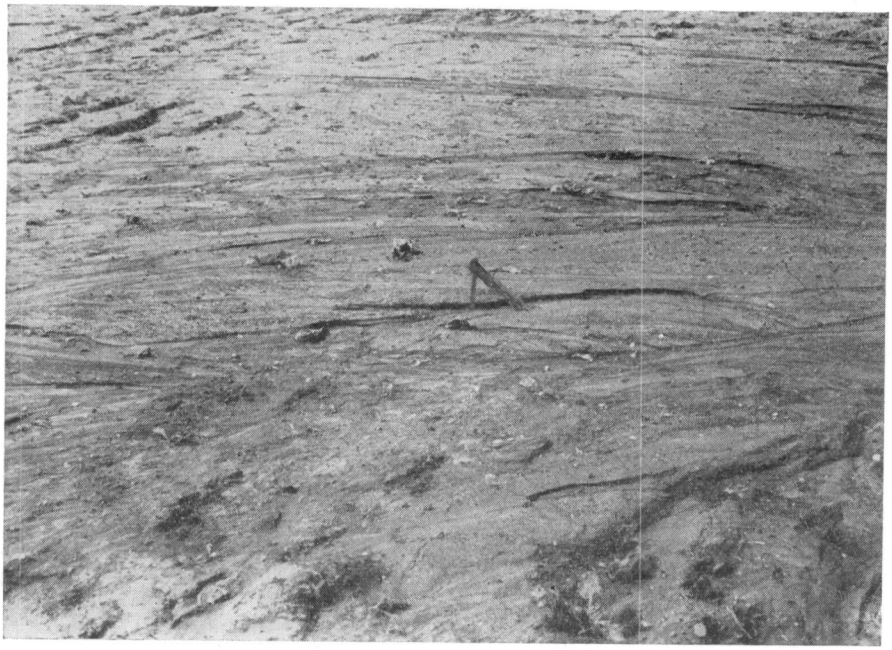


FIG. 7. — Pont-les-Brie. Nappe d'alluvions en bas du champ.

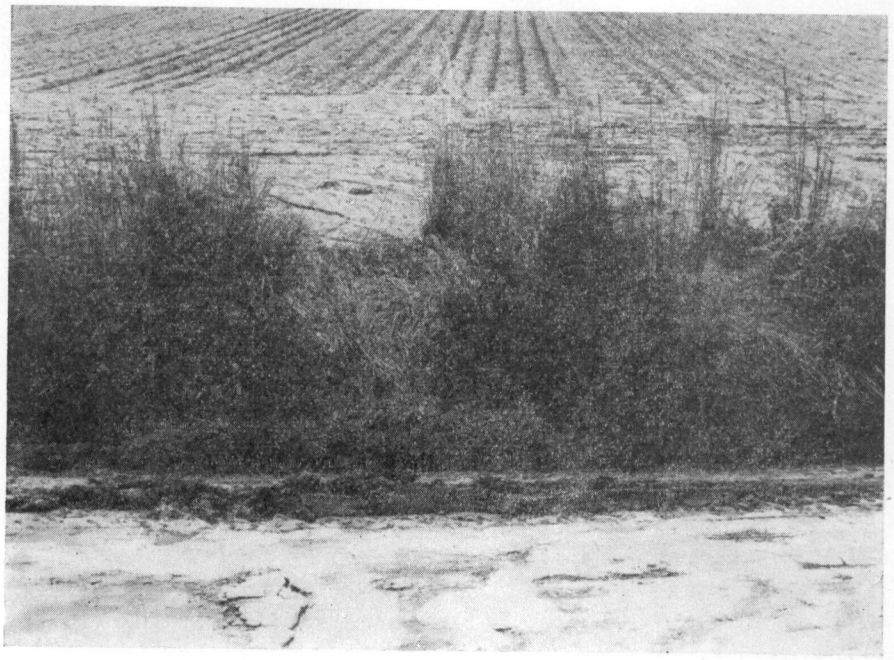


FIG. 8. — Pont-les-Brie. Même champ. L'alluvion franchit le talus et se répand sur la route.

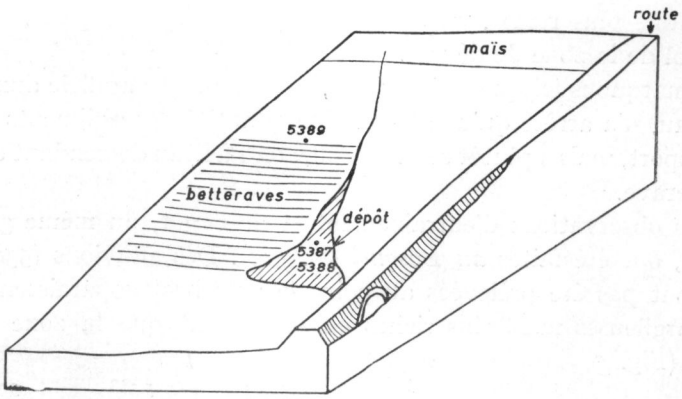


Fig. 9. — Bloc diagramme du Bosquel.

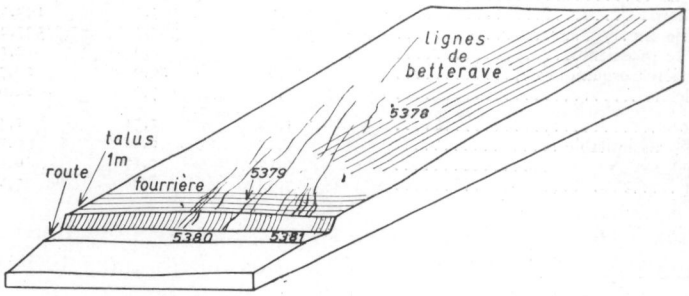


Fig. 10. — Bloc diagramme d'Oisemont.

En d'autres endroits, l'alluvion s'est arrêtée en bordure du talus de la route, sur lui ou sur la route et son bas-côté (photo 8).

Le dépôt sur le bas-côté (5386) ayant la même constitution que celle de la zone de départ, il y a donc eu transport sans triage. Le sédiment sur la bordure du talus était un peu plus argileux (5385).

	5 386	5 385
Cailloux et graviers	7	10
Argile	188,3	210,5
Limon	149,4	172,2
Sable fin	606,1	561,1
Sable grossier	9,0	4,3
Matières organiques	27,3	27,5
Calcaire	13,9	13,4
Azote	1,38	1,31
Acide phosphorique assimilable	0,47	0,40
Potasse échangeable	0,19	0,19
pH	7,92	7,95

Dans les petites coulées de terre, le dépôt est formé d'agrégats de terre non détruits se touchant comme des billes dans un tas, tandis que dans la grande coulée du thalweg, les agrégats sont presque totalement détruits, l'alluvion formant une masse plus compacte.

Au point de vue chimique, les alluvions (pour les 3 types) apparaissent comme plus riches, en acide phosphorique (et un peu en potasse) que le sol de la zone de départ.

Remarquons ici que la fourrière, sensiblement parallèle aux courbes de niveau, n'a arrêté qu'une très faible quantité des sédiments en cours de transport, mais a plutôt servi de collecteur à l'eau descendant des lignes de betterave.

Des observations d'entraînement et de dépôt, du même genre que celles-ci, ont été faites *au Bosquel* (N. 320). Des alluvions (5387, 5388) (qui n'ont pas été prélevées au point le plus bas) apparaissent comme moins argileuses mais plus riches chimiquement que la zone d'origine (5389). (Fig. 9)

	5 387	5 388	5 389
Cailloux et graviers	6	13	21
Argile	175,0	173,5	193,9
Limon	181,1	187,7	193,5
Sable fin	598,5	585,7	537,2
Sable grossier	5,0	6,0	4,1
Matières organiques	36,0	29,9	28,7
Calcaire	5,1	7,6	26,0
Azote	1,85	1,51	1,44
P_2O_5 assimilable	0,25	0,21	0,19
K_2O »	0,17	0,17	0,15
pH	7,95	8,0	7,8

Région d'Oisemont. — Les orages du 26 mai 1955 ont fourni 45 mm d'eau dans l'après-midi et ont causé de gros dégâts dans la vallée qui, débutant à Oisemont, descend vers Pont-Rémy.

1° A la sortie nord d'Oisemont, bifurcation du D. 25 et du G. C. 29.

Environ 2 m³ de terre, provenant d'une pièce de betteraves de un hectare, étaient épandus sur le bas-côté du champ, le long de la route, qui, comme à Pont-les-Brie, avait servi d'exutoire à l'eau. De même qu'en cette dernière localité, la fourrière a plus ou moins collecté l'eau qui coulait sur la surface, entièrement glacée du terrain (fig. 10) (Bloc diagramme d'Oisemont) fig. 11-12 (photos.)

La pente du sol est très faible, inférieure ou égale à 2 p. 100, la longueur de la pièce et le sens des lignes étaient orientés suivant cette même pente.

La terre déposée en bas du champ de betteraves (5379-5380), sur le talus de 1 mètre bordant la route, sur celle-ci (5381) est plus sableuse que celle de la zone de départ (5378) : l'argile en suspension ayant dû partir avec l'eau écoulée sur la route. Le calcaire est spécialement entraîné et enrichit l'alluvion, il en est de même pour l'acide phosphorique.

	5 378	5 379	5 380	5 381
Cailloux et graviers	4	1	44	10
Argile	155,3	116,9	121,9	102,5
Limon	213,4	160,2	179,8	134,5
Sable fin	584,7	682,6	595,8	733,1
Sable grossier	3,7	3,9	55,9	2,8
Matières organiques	32,4	24,7	40,1	27,8
Calcaire	0	0,8	10,6	2,1
Azote ..... a.....	1,43	1,18	1,67	1,15
P_2O_5 assimilable.....	0,18	0,25	0,33	0,19
K_2O »	0,17	0,14	0,15	0,11
pH	6,45	7,4	8,0	7,32

La mesure du poids spécifique nous a donné 2.2 pour la craie roulée, alors que les cailloux de craie en place, et les silex avoisinent 2.4.

Région de Vaux-Marquenneville. — D'après les renseignements que nous avons pu obtenir localement il est probable que la hauteur d'eau de 45 mm recueillie après l'orage à Oisemont, a été dépassée ici. La route de Vaux à Fraucourt était couverte sur 700 m de long, de 80 cm à 1 m d'eau, formant un torrent de 20 m de large.

Observations sur le terrain : fig. 13 (Bloc diagramme de Vaux).

Nous avons pu faire, quelques jours après, les observations suivantes :

— les chemins empierrés, très dégradés, semblaient une route en cours de rechargement, sillonnés par de profondes ornières ; les silex n'étaient plus liés et des brouettées de cailloux avaient coulé dans les pâtures en contrebas du chemin ;

— le talus du chemin montant de Vaux vers Doudelainville, était à moitié effondré par plaques de 1 à 2 mètres de large et de hauteur, de 30 à 50 cm d'épaisseur (fig. 14-15).

A partir de ce chemin, l'eau qui en descendait avait formé des rigoles

FIG. 11. — Oisemont. Pièce de betteraves battue et ravinée.

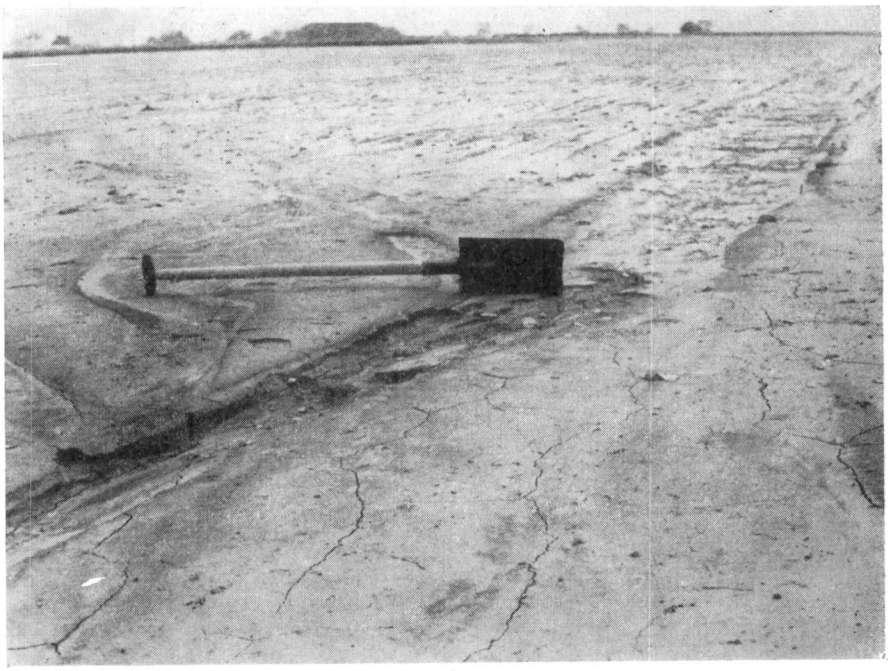


FIG. 12. — Oisemont. Nappe alluviale formée en bas de la pièce précédente.

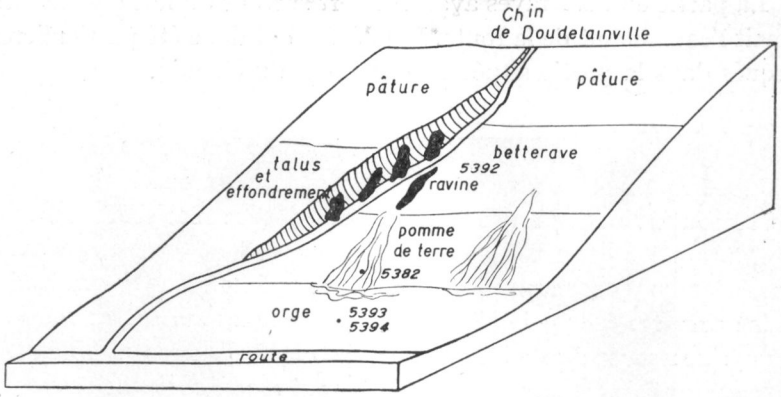


Fig. 13. — Bloc diagramme de Vaux.

FIG. 14. — Vaux-Marquenneville. Effondrement du talus bordant le chemin de Doudelainville.

dont la plus importante longue de 5 m était large de 40 à 50 cm et profonde d'autant (fig. 16).

La partie en betteraves avait souffert surtout du fait des ravines que formait l'eau venant de la route. Les dégâts ont donc été particulièrement marqués dans la partie située en contrebas du chemin.

FIG. 15. — Vaux-Marquenneville. *Idem.* Gros plan montrant le ravinement de la terre.

Par contre, sur toute la surface du champ de pommes de terre (hauteur moyenne de 10 à 15 cm) non buttées, une épaisseur de sol difficile à déterminer, a été arrachée (fig. 17-18).

Dans l'orge, couchée sur une largeur de 1 à 3 m, en bordure de la pièce, le dépôt atteignait 2 à 5 cm d'épaisseur, 20 m de largeur minimum et 200 m de long (fig. 19).

Examen de laboratoire :

L'alluvion (N° 5393) constituée de 75 p. 100 de sable fin est beaucoup

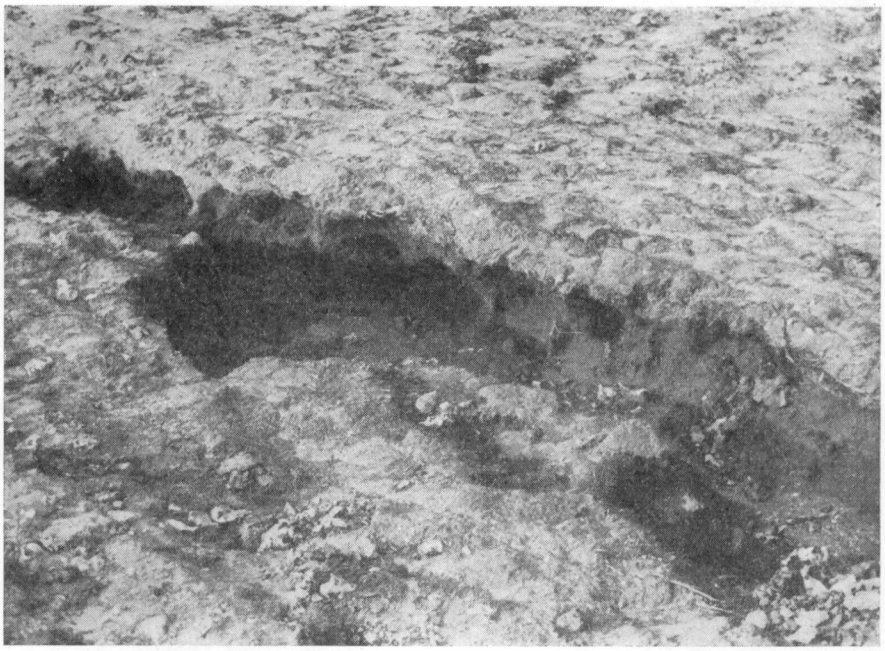


FIG. 16. — Vaux-Marquenneville. La grande rigole due à l'eau venant du chemin.

FIG. 17. — Vaux-Marquenneville. Champ de pommes de terre, champ d'orge à l'arrière-plan (remarquer les pommes de terre mises à nu, le tas de cailloux ramassés, la nappe blanche de cailloux).

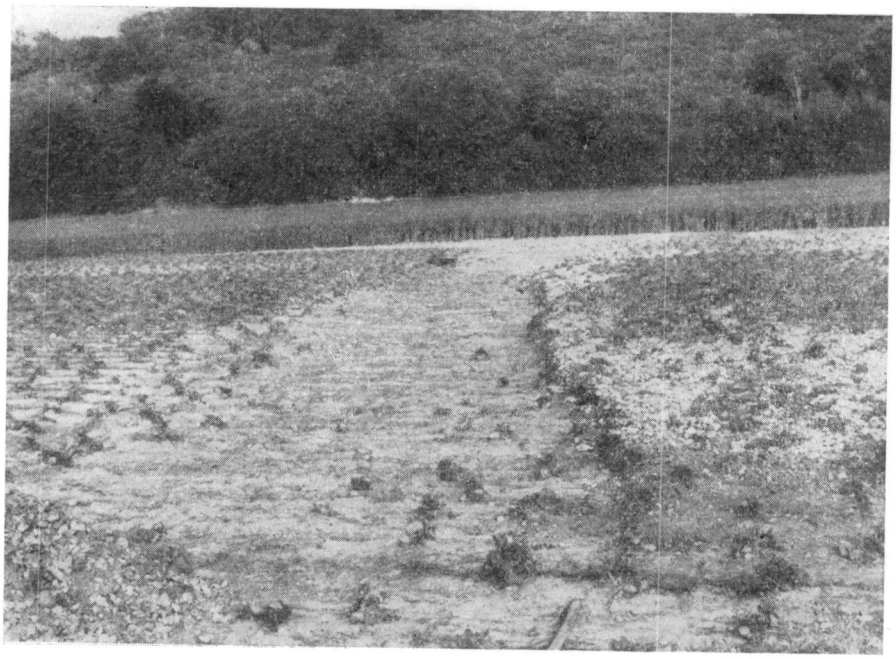


FIG. 18. — Vaux-Marquenneville. Dans la partie nue au centre de la photo, les cailloux amenés par l'eau ont été ramassés par les cultivateurs. La partie blanche à droite et celle bordant l'orge sont formées d'alluvions et de cailloux.

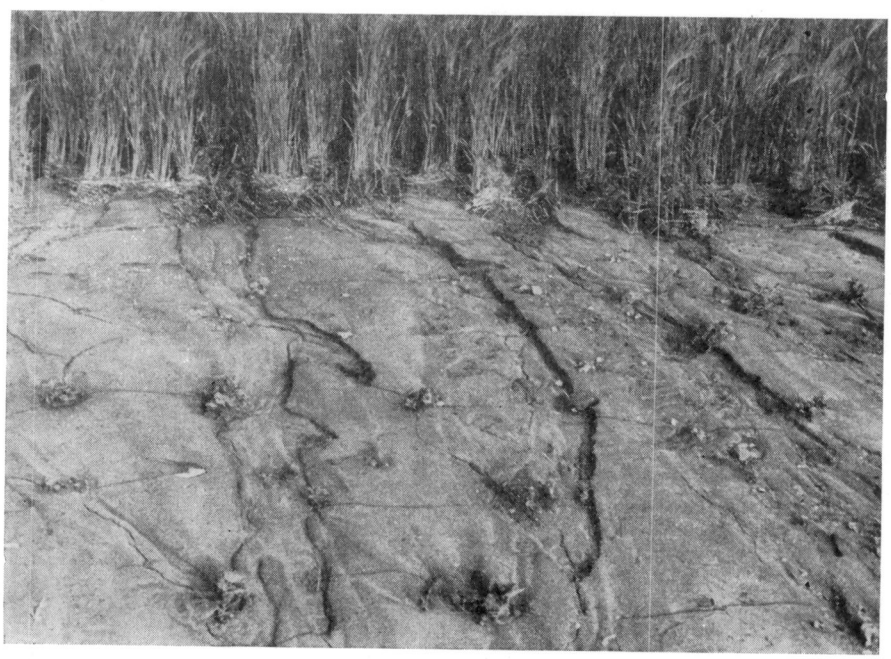


FIG. 19. — Vaux-Marquenneville. Arrivée de la nappe d'alluvions dans l'orge.

moins argileuse que la zone de départ (N° 5392). Le sol (N° 5394) recouvert par l'alluvion s'apparente beaucoup à celle-ci.

	Vaux-Marquenneville			Serre-Hébuterne		
	5 392	5 393	5 394	5 359	5 360	5 361
Cailloux et graviers .		9,2		0,7	4,6	5,5
Argile	160,6	95,6	108,5	94,8	109,3	132,1
Limon	172,4	117,3	162,1	161,3	224,1	235,2
Sable fin	608,6	751,6	706,7	711,2	631,2	597,6
Sable grossier	14,3	5,0	3,2	1,2	5,9	3,1
Matières organiques	31,8	22,9	24,7	20,5	33,2	26,1
Calcaire	4,2	4,6	0	2,1	1,2	1,2
Azote	1,47	0,95	1,11	1,03	1,60	1,26
P_2O_5 assimilable	0,35	0,24	0,19	0,25	0,19	0,22
K_2O échangeable	0,24	0,15	0,07	0,30	0,25	0,25
pH	8,0	7,92	6,85	7,45		6,85

Cette disparition de l'argile s'explique par le fait que l'eau s'est écoulée dans la vallée (le fond étant ouvert) et a porté l'argile plus en aval.

Lors de notre passage, les cultivateurs ramassaient, dans la pièce de pommes de terre, les silex (2 à 3 tombereaux) provenant du chemin. Le poids de ces silex entraînés sur 100 à 200 m atteignait 215, 225, 660 et 780 grammes. Le transport de cailloux aussi lourds est d'ailleurs facilité par la densité, supérieure à 1, de l'eau boueuse, qui diminue d'autant le poids relatif des pierres (2).

Dans cette région (Frucourt, Limeux, Hocquincourt) les mêmes phénomènes — plus ou moins intenses — étaient visibles en sol nu, dans les betteraves et les pommes de terre. Toutefois dans ce dernier cas, les pièces buttées suivant les lignes de niveau, quoique endommagées, avaient mieux résisté (fig. 20-21).

Seuls les sols entièrement couverts (prairies, trèfles) n'avaient que peu souffert, et, dans ce cas, par apport des zones supérieures, dont elles avaient arrêté les alluvions.

Les orages survenant après le 15 juin trouvent en général une terre bien couverte par la végétation et seraient donc moins à craindre.

Cependant les orages très violents — ou même modérés — si d'autres conditions sont par ailleurs remplies, parviennent à causer des dégâts aux cultures.

Nous citerons les exemples suivants :

c) **Betteraves après démariage :**

Serre Hébuterne, 20 juin 1954, l'orage a fourni 30 mm d'eau. Sol de limon franc (5361), pente 3 à 5 p. 100 avec maximum 5 à 10 p. 100 (le plan directeur indique 15 m de dénivellation en 400 m avec fraction plus accentuée de 10 m sur 150 m). (Bloc diagramme de Serre Hébuterne) fig. 22.

Les betteraves ayant 15 à 20 feuilles, hautes de 20 à 30 cm, couvrant à moitié le sol, étaient semées suivant les lignes de pente.

L'eau a coulé dans les lignes de démariage, et entraîné la terre en creusant des rigoles larges de 10 à 15 cm et profondes de 2 à 5 cm. Ces

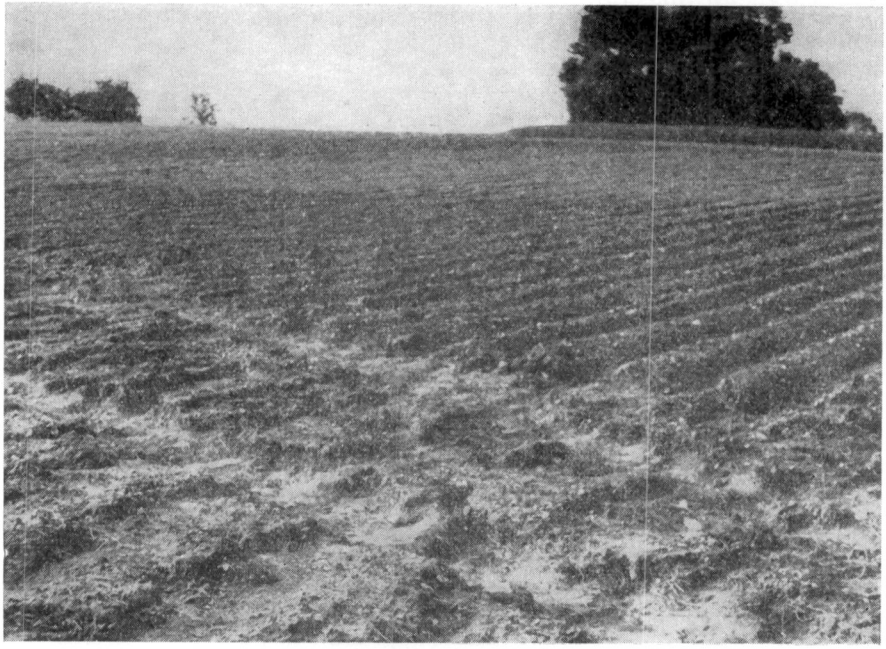


FIG. 20. — Frucourt. Ravinement dans un champ de pommes de terre buttées suivant les courbes de niveau.

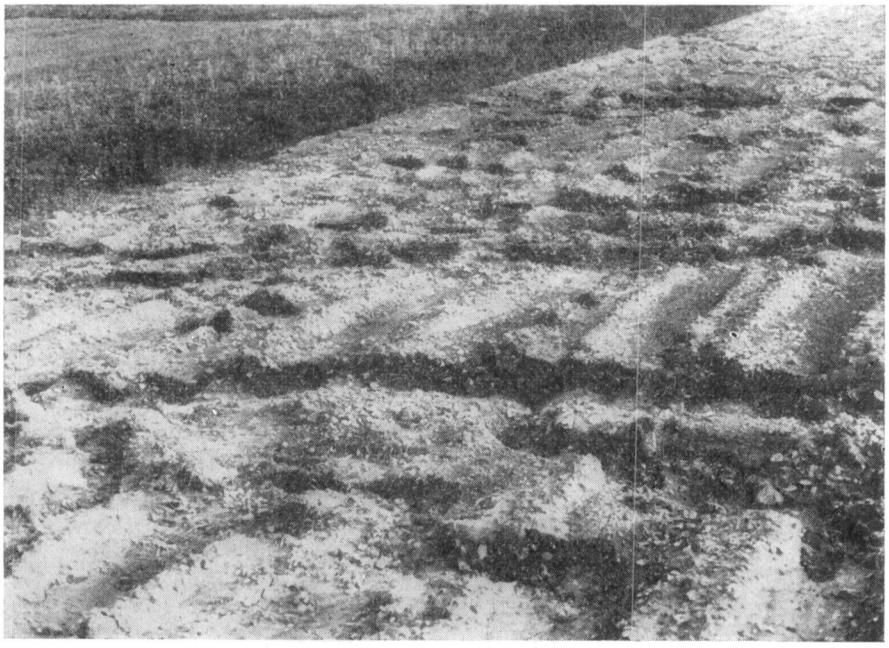


FIG. 21. — Frucourt *Idem*. Ravinement et dégradation des buttes.

rigoles, toujours du même côté des lignes de betteraves, mettent en évidence l'influence du binage.

Les feuilles, couvertes de terre, font présumer un niveau d'eau minimum de 30 cm dans le bas du champ.

Le dépôt formé couvrait une étendue de 100 m de long, 10 à 20 m de large et 2 à 8 cm d'épaisseur. Cette nappe de boue, profilée suivant les lignes de courant, formait un creux presque à chaque betterave. Comme dans la région d'Oisemont — fond en communication avec, ici, la vallée de l'Ancre — l'alluvion est plus sableuse que le sol d'origine (fig. 23).

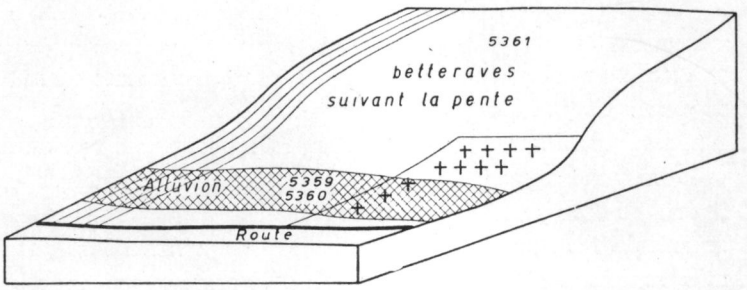


Fig. 22. — Bloc diagramme de Serre-Hébuterne.

Il est probable que dans cette pièce de Serre Hébuterne, les betteraves auraient été arrachées si elles n'avaient pas été aussi développées.

Un champ plus petit, situé de l'autre côté de la route avait moins souffert (fig. 24).

d) **Pommes de terre :**

Oissy, 30 juin 1954, la pièce où nous avons pu faire cette observation est située sur un versant exposé au Sud-Ouest, le versant présente, à cet endroit, un affaissement continu se développant en s'élargissant d'un bord à l'autre du champ (fig. 25, fig. 26).

La partie supérieure de la pièce, roulée après le semis, porte une végétation assez faible de bisaille. La partie inférieure est en pommes de terre buttées en lignes perpendiculaires à la pente principale.

La pluie d'orage bat la surface roulée et la rend vite imperméable. L'eau se rassemble au bas de cette pente contre les buttes. Mais en même temps l'eau qui ne pénètre pas dans le sol planté en pommes de terre s'écoule vers le thalweg en suivant les canaux formés par les lignes de buttes.

L'afflux d'eau au thalweg emporte les buttes et répand la terre dans la partie sensiblement horizontale du terrain (fig. 27-28).

Le résultat à longue échéance est le suivant : en haut des croupes

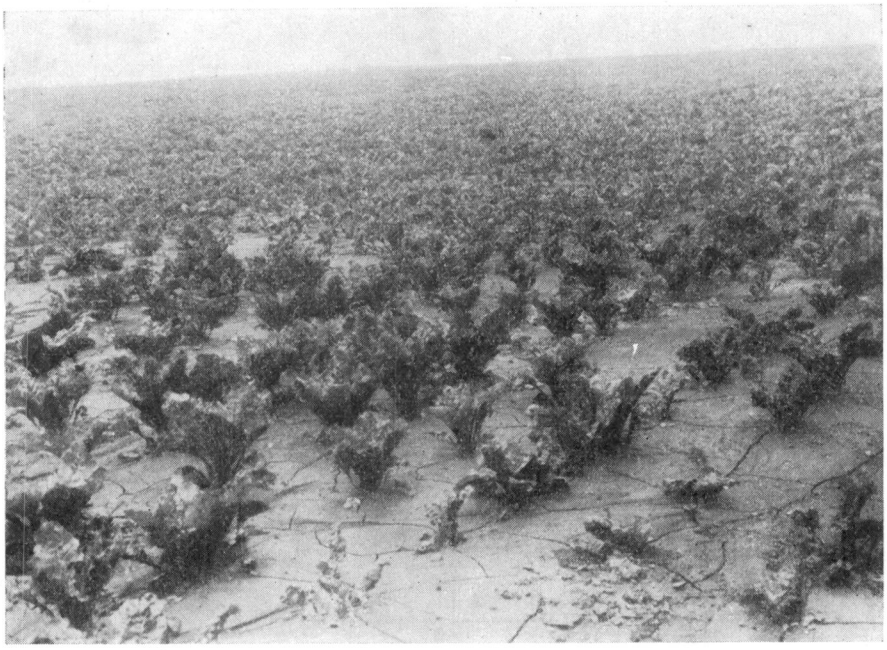


FIG. 23. — Serre-Hébuterne. Alluvionnement dans la partie basse du grand champ de betteraves.

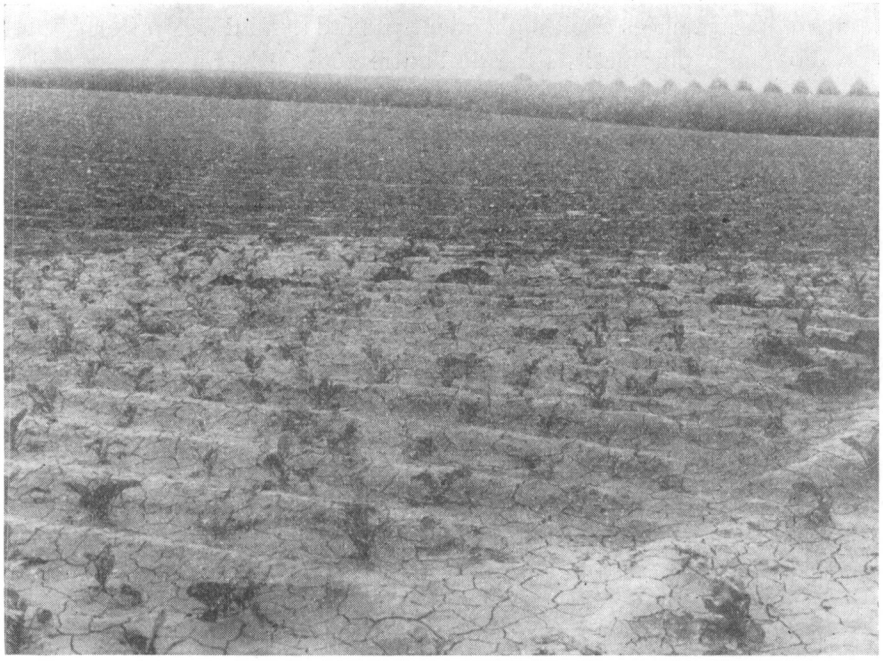


FIG. 24. — Serre-Hébuterne. Petit champ en face du précédent. L'alluvionnement est moins prononcé.

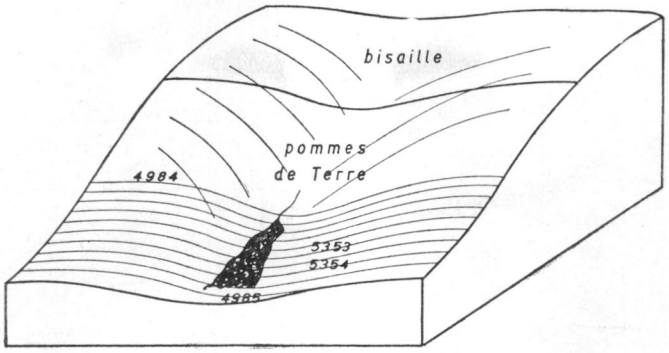


Fig. 25. — Bloc diagramme de Oissy.

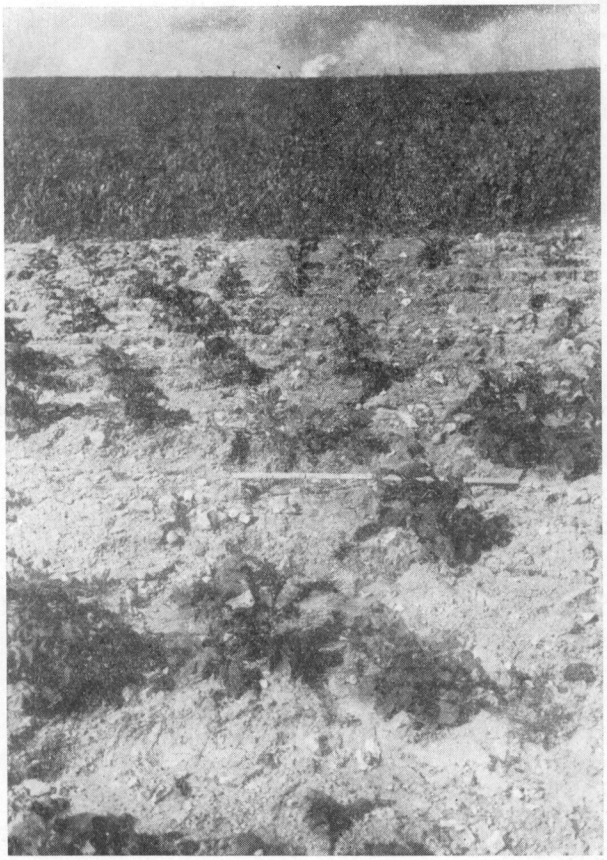


FIG. 26. — Oissy. Vue générale du thalweg (la partie supérieure est en bisaille).

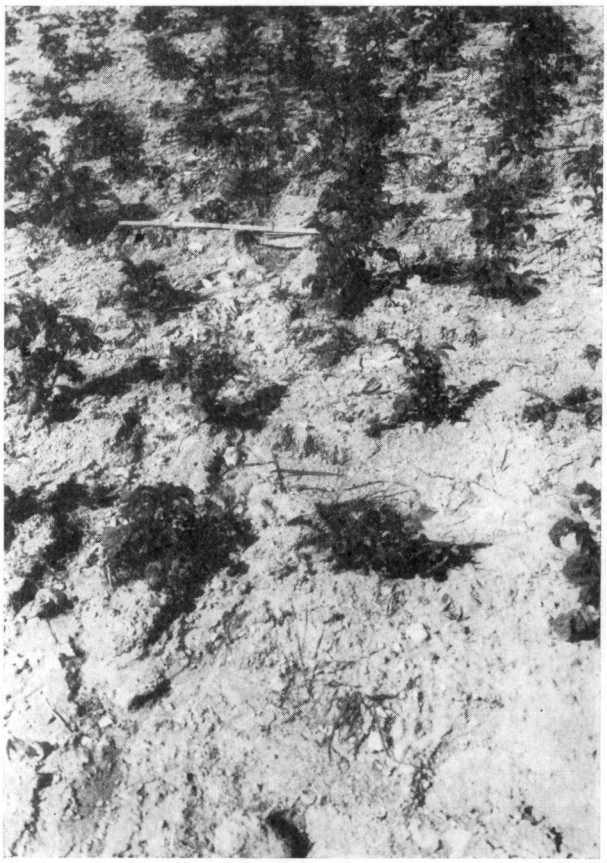


FIG. 27. — Oissy. Rigoles (plan général)
(on voit l'ombre portée par le bord des rigoles, les buttes de pommes de terre sont détruites).

(4984), le sol a 17 cm d'épaisseur, en haut du thalweg 50 cm, en bas de celui-ci 1 mètre environ (4985 A, B, C).

	4 984	4 985 A	4 985 B	4 985 C	5 353	5 354 alluvion
	—	—	—	—	—	—
Cailloux et graviers.....	315	219	267	278	475	180
Argile	72,7	89,4	95,2	98,0	62,9	63,0
Limon	75,3	56,9	90,8	62,6	105,1	105,2
Sable fin	183,3	252,5	269,5	259,2	242,3	226,5
Sable grossier	17,6	17,9	7,1	7,3	8,7	5,1
Matières organiques	55,9	49,9	29,2	24,7	54,8	49,4
Calcaire	608,5	509,2	526,2	530,2	529,1	554,8
Azote	2,5	2,3	1,27	1,15	2,59	2,58
P_2O_5 assimilable					0,78	0,87
K_2O échangeable					0,12	0,12
pH					8,1	8,12

Dans ce cas un seul procédé permettrait de lutter efficacement contre l'érosion ; travail du sol suivant les courbes de niveau, mais en ce lieu, l'opération est gênée par la petitesse des parcelles.

Moreuil, 9 juillet 1956. Sur un sol calcaire en pente assez faible, un orage avec pluie très violente (11, 2 mm en 15 minutes pour le poste le plus rapproché) a raviné des betteraves au démariage.

FIG. 28. — Oissy. Gros plan des rigoles, dénudation des cailloux.

La terre a été transportée dans un fond planté en pommes de terre, buttées, et limité par un chemin en remblai.La végétation avait 30 à 40 cm de hauteur (fig. 29-30).

L'étude du dépôt met en évidence la succession des phases du phénomène.

Dans la partie la plus basse :

Sur le sol normal, s'est déposée une couche (A) épaisse de 1 à 2 cm,

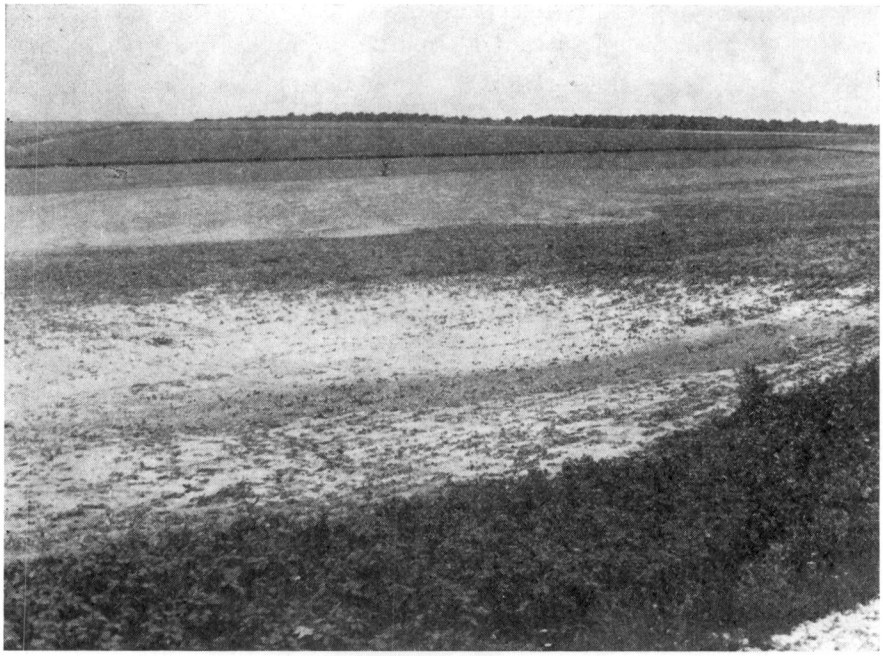


FIG. 29. — Moreuil. Vue générale du vallonnement.
Succession des cultures depuis le haut : luzerne, betteraves non démariées, betteraves démariées, mare de boue dans betteraves et pommes de terre, pommes de terre.

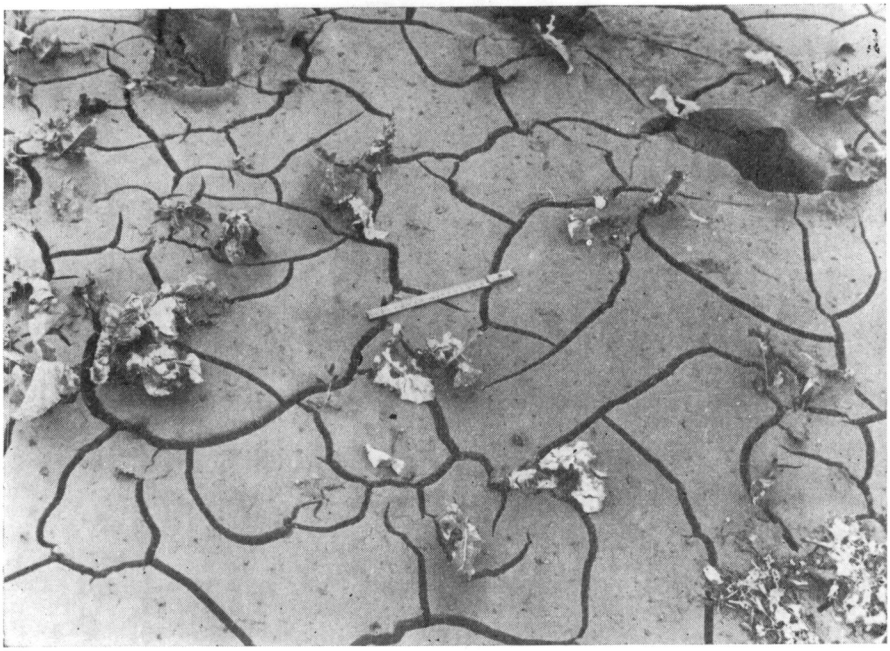


FIG. 30. Moreuil. Fendillement de la mare de boue.

composée d'éléments de 1 à 2 mm. Au-dessus, une masse compacte et uniforme d'alluvion de 10 cm d'épaisseur (B).

Enfin un dépôt superficiel (C) de 2 cm est séparé du précédent par une surface lisse de discontinuité, celle-ci devant correspondre à la cessation de l'écoulement et au passage au depôt en eau calme.

L'*analyse physique* des divers sédiments permet de comprendre ainsi le mécanisme du dépôt :

1° Le flot transporte une partie sableuse (A) (N° 5552) à agrégats non détruits, peu différente du sol d'origine (N° 5547).

2° La pluie détruit les agrégats et l'eau transporte alors de la boue (B) (N° 5551) qui subit un triage : enrichissement en limon et calcaire ; l'argile reste partiellement en suspension.

3° Une partie des alluvions transportées se dépose sur un petit replat, probablement en fin de flux (N° 5549).

4° Après cessation de la pluie, donc en eau calme, un sédiment (C) (N° 5550) plus argileux et plus calcaire se dépose sur le fond de la cuvette déjà garni d'alluvions.

	5 547	5 549	5 550	5 551	5 552
Argile	262	251	315	275	236
Limon	297	312	435	386	275
Sable fin	328	287	143	229	370
Sable grossier	31	56	3	4	38
Matières organiques	52	47	80	74	58
Calcaire	399	634	578	524	374
Azote	2,37	2,50	3,52	3,25	2,18
P_2O_5 assimilable	0,10	0,17	0,27	0,26	0,14
K_2O échangeable	0,23	0,39	0,49	0,47	0,47
pH	7,8	7,5	7,8	7,8	7,7

La Faloise, 2 juillet 1954. Il s'agit d'une observation relevée au cours d'un voyage en chemin de fer d'Amiens à Paris, mais la mauvaise qualité de la photo ne permet pas la reproduction.

Le champ de pommes de terre était parcouru par des rigoles analogues aux exemples pris en Amérique et en Afrique du Nord pour illustrer les ouvrages consacrés à l'érosion.

2. — Orages de fin d'été.

Les orages d'été et de fin d'été ne paraissent pas causer de dégâts dans les récoltes sur pied ni sur les éteules ou les sols déchaumés. Dans le premier cas, la couverture végétale modère la chute de pluie, dans le second la terre tassée et sèche est dure et l'action érosive n'a souvent pas le temps d'entamer le sol avant la fin de l'orage. Dans les terres déchaumées, la couche superficielle desséchée parvient généralement à absorber la chute de pluie.

Par contre le sol après arrachage de pommes de terre est souvent très meuble et déjà, en septembre, plus humide.

Nous avons observé le 18 septembre 1955 près d'*Allery*, l'érosion dans

un tel champ. Les derniers passages au canadien effectués suivant la ligne de pente ont favorisé l'entraînement de terre à la suite d'une pluie de 32 mm tombant sur un sol déjà mouillé.

La pièce voisine, déchaumée suivant les lignes de niveau, n'avait aucunement souffert.

Le champ ayant moins de 100 m de large, est allongé suivant la pente. Celle-ci atteint 10 à 20 p. 100, avec une partie plus déclive d'environ 30 p. 100. D'après la disposition des lieux, le thalweg doit fonctionner comme un fond relativement fermé par érosion modérée, comme un fond ouvert par orages et pluies très violents.

Le dépôt a eu lieu en deux temps :

Dépôt épais de 2 cm, puis un autre de 1 cm séparé du précédent par une surface de discontinuité lisse.

L'alluvion (5401 A) en bas de pente occupait une surface de 60 m² environ (avec une épaisseur moyenne de 2 à 3 cm). En outre de petits dépôts sableux (5398-5400) s'étaient produits sur les ruptures de pente (fig. 31).

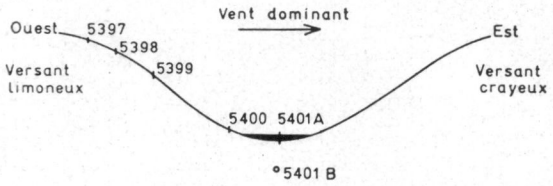


Fig. 31.

Les analyses 5398-5400-5401 A permettent de voir la progression de l'argile vers le bas, le dépôt de sable ayant lieu plus haut.

La composition du sol (5401 B) sous la présente alluvion, indique que le calcaire n'est pas apporté par érosion modérée mais lors de périodes de ravinement intense attaquant le versant crayeux, au vent.

Il semble donc possible de déceler ainsi un remplissage par érosion violente qui fournit la craie et un autre par érosion modérée qui fournit des sédiments de type limoneux.

	5 397	5 398	5 399	5 400	5 401 A	5 401 B
	—	—	—	—	—	—
Argile	126,8	44,9	146,7	64,9	147,8	116
Limon	156,7	60,7	170,6	92,7	210,4	153
Sable fin	677,9	874,7	638,3	822,7	605,8	600
Sable grossier	4,2	traces	6,3	1,2	0,9	7
Matières organiques	27,4	10,5	29,8	14,9	33,5	39,9
Calcaire	0,8	0,4	0,8	0,8	1,3	56
Azote	1,24	0,36	1,34	0,51	1,56	2,82
P_2O_5 assimilable	0,27	0,21	0,23	0,28	0,13	0,23
K_2O échangeable	0,27	0,09	0,16	0,12	0,20	0,40
pH	7,3	7,75	7,15	7,6	7,5	7,2

3. — **Automne.**

Les fortes pluies d'automne peuvent parfois causer certains dégâts au sol. Nous signalerons pour cette saison, l'observation faite le 26 octobre 1952 entre *Coucy-le-Château* et *Fresnes* (Aisne).

Dans une pièce ondulée semée en blé, le thalweg présentait une

FIG. 32. — Coucy-le-Château. Rigole sinueuse dans blé. 1er novembre.

rigole principale large de 10 à 15 cm, profonde de 5 à 10 cm dans laquelle débouchaient de petites rigoles affluentes larges de 5 à 10 cm et creuses de 2 à 3 cm (fig. 32).

A la fin de l'hiver, la profondeur de la ravine principale était portée à 10-15 cm tandis qu'elle s'était élargie à 20-25 cm.

A *Allonville* (Somme) des colzas ont été ravinés de la même façon au cours de l'hiver 1956-57.

4. — Dégel et Fontes de neige.

En l'absence d'observations personnelles, nous devons nous rapporter à celles des ruraux.

L'entraînement de terre peut se produire quand un dégel relativement rapide survient alors que le sol est recouvert de neige, ou que de fortes pluies tombent à ce moment. C'est le phénomène des « eaux sauvages » : le sol ne pouvant absorber l'eau en raison du gel persistant en sous-sol, l'eau coule et entraîne la terre à mesure de son dégel (Toutencourt 1955, Doullennais, Vermandois, Yaucourt). Les thalwegs sont plus exposés du fait de l'accumulation de neige par le vent, alors que les croupes souvent débarrassées de neige doivent être moins sujettes aux dégâts dus à la fonte.

A l'inverse un dégel extrêmement rapide, par suite d'un réchauffement brutal, entraînant la fusion, même d'une couche de neige pouvant atteindre 10 à 15 cm d'épaisseur, peut ne causer aucun dégât au sol, si celui-ci a été fortement gelé avant la chute de neige. Le sol n'a pas le temps de dégeler beaucoup et l'eau claire coule sur lui comme sur un miroir. Ce fait s'est produit dans la région de Doullens avant 1940.

B. — Érosion éolienne.

A côté de l'érosion hydraulique existent également des phénomènes d'érosion éolienne, mais cette dernière est plus difficile à observer en raison de l'extension limitée des sols sableux dans notre région.

Cependant on peut signaler les cas suivants :

a) **Au printemps :**

Plainville (Oise). Erosion en mars-Avril. — La terre « volante » des cultivateurs est un sable de Bracheux qui a été « sur-marné » dans les siècles passés : la teneur du sol en CO_3Ca est en effet de 56 pour mille (4161 A) alors que le sous-sol ne renferme pas un grain de calcaire.

Ce sable, sans consistance, quand il est sec, s'envole au hâle de mars (vent Nord-Est). En 1948, lors de la réunion de la section Nord-Ouest de l'A. F. E. S. des dunes s'étaient formées à la limite des champs cultivés au bord de l'excavation d'une sablière. En 1954, le sable soufflé s'est rassemblé dans les traces des roues de tracteur, Le sol, où les graviers calcaires étaient mis à nu, était devenu tellement meuble par la dessiccation que les pas s'y marquaient fortement (fig. 33-34). Tous les ans, même si le phénomène n'est pas aussi accentué, la lisière du bois bordant ces champs est saupoudrée de sable. Par comparaison avec la terre d'origine, on observe une diminution notable des fractions argile, limon, sable grossier, calcaire, matières organiques, et une augmentation importante du

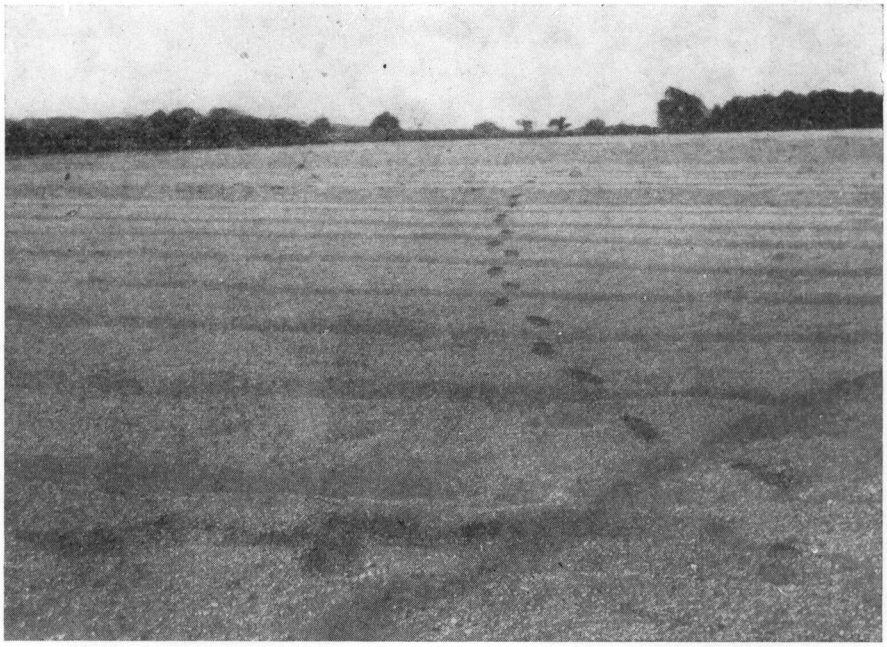


FIG. 33. — Plainville. Rassemblement du sable dans l'empreinte des roues de tracteur. Noter l'enfoncement des pas.

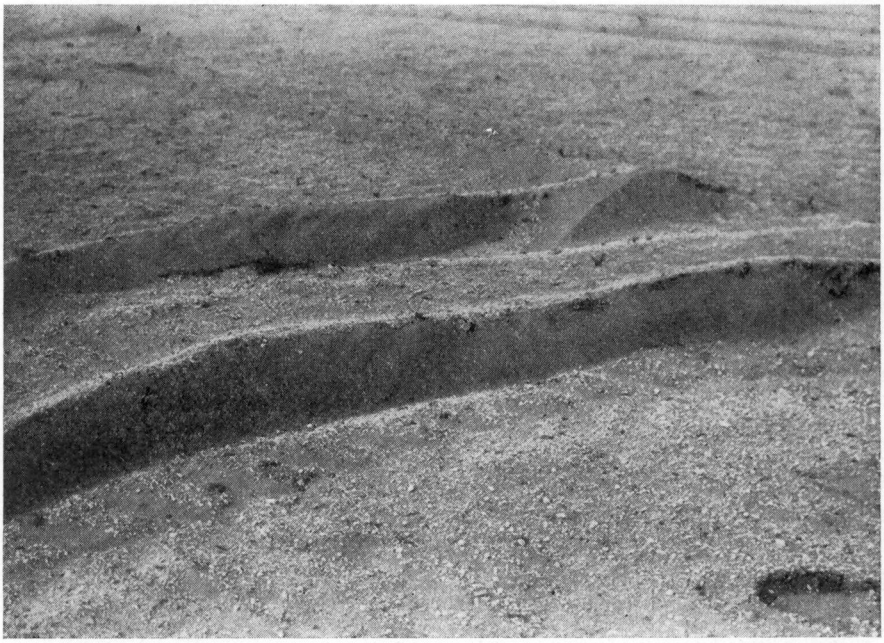


FIG. 34. — Plainville. Le tracteur en tournant a chassé le sol. Contre cette levée de terre, le sable s'accumule en petites dunes. Noter l'abondance de graviers et cailloux de craie, mis à nu par le vent.

sable fin qui parvient à constituer presque tout le dépôt (N° 4161 A-5362).

	4 161 A	5 362
	—	—
Argile	20,1	9,5
Limon	84,1	14,4
Sable fin	811,7	948,5
Sable grossier	10,0	4,3
Matières organiques	24,5	11,4
Calcaire	56,6	14,4
Azote	1,08	0,45
P_2O_5 assimilable	0,35	0,13
K_2O échangeable	0,28	

Beaulieu-les-Fontaines. — Un vent de sable était visible le jour de Pâques 1954, près de Beaulieu-les-Fontaines.

Près de Rue.— L'érosion éolienne s'est fait sentir sur lin. Le cultivateur pense d'ailleurs « que plus on motorisera, plus la terre volera ».

Il s'agit dans ces 3 cas d'érosion avant la levée. Mais parfois la couverture végétale peut être insuffisante, en d'autres saisons, pour empêcher l'érosion éolienne.

b) **En été :**

A *Berneuil-sur-Aisne,* un jour de 14 juillet, le vent a tellement emporté de sable des pièces de betteraves « que c'était un vrai Sahara et qu'il a fallu déblayer la route à la pelle ».

Près de la forêt de Crécy en Ponthieu les cultivateurs ont signalé au conseiller agricole que la terre vole en été, aux endroits où la force du vent n'est pas freinée par des rideaux d'arbres ou des bois.

Enfin près des côtes sableuses au nord de la Somme, on observe quelquefois la progression des dunes. Au *Domaine du Marquenterre,* près de Rue, les exploitants nous ont fait constater ce fait sur les photos aériennes prises aux missions successives de l'I. G. N.

C. — Érosion « Insidieuse »

Dans les terres crayeuses en pente existe une micro-érosion, observable, mais pratiquement impossible à mesurer ; on la constate ainsi :

Les parties un peu saillantes hors du niveau général du sol (mottes, dessus des bandes de labour) laissent échapper sous l'action de la pluie des agrégats inférieurs ou égaux à 1 mm qui se rassemblent dans les petits replats du sol.

Ce phénomène d'érosion en nappe fait descendre peu à peu le sol vers les parties basses, d'où formation de sol squelettique en haut de pente et plus épais en bas. Il semble que c'est principalement à cette action (complétée par l'érosion directe, type Oissy 20 juin 1954) Voir p. 111 que doivent être attribués l'épaississement du sol des creux et la dénudation des crêtes

sur les surfaces ondulées des versants crayeux. Cette différenciation crée des taches claires et sombres nettement visibles sur le terrain humide et sur la photo aérienne (Saisseval, Briquemesnil, etc.).

D. — Cultures intéressées et effet sur les rendements.

Comme l'ont montré les observations et l'enquête auprès des cultivateurs, les cultures les plus fréquemment éprouvées par l'érosion sont les plantes sarclées de printemps. Les céréales d'hiver et le colza peuvent être également touchés lors de pluies longues et fortes de la mauvaise saison.

Au printemps les betteraves paraissent particulièrement souffrir et être sujettes à l'arrachement. Les pommes de terre semblent mieux résister. Cependant un de nos interlocuteurs a vu des pommes de terre entraînées à 2 km, malgré le peu de pente (Arquèves, juin 1949), tandis qu'à Villers-Bocage (1953) un torrent formé dans un champ, dévastait une dizaine de rangs sur toute leur longueur en emportant terre et tubercules.

L'action de l'érosion se marque sur les rendements, mais peu d'agriculteurs ont pu fournir des précisions à ce sujet : normalement en effet, la récolte est mesurée sur la totalité de la pièce sans distinction entre les parties haute et basse.

Nous n'avons donc recueilli que des impressions générales : d'une différence faible ou appréciable, mais non chiffrée, le rendement peut descendre sur les croupes crayeuses à la moitié de celui obtenu dans les thalwegs.

Dans les dépressions, plus ou moins fermés, la constitution et la profondeur du sol peuvent en outre rendre la terre collante et créer des risques de verse par suite de la croissance élevée d'une végétation touffue.

Les vallées, dans lesquelles l'eau s'évacue rapidement vers une rivière,en entraînant l'argile, ont des sols de type limono-sableux (voir analyses nº 5393-5394) à capacité de production inférieure parce que moins riches en colloïdes.

Après avoir mis en évidence l'érosion dans la région, nous examinerons les facteurs qui contribuent à son apparition et à son extension.

II. — FACTEURS CRÉANT L'ÉROSION

Les références bibliographiques (Doc. Géné.) aussi bien que nos constatations nous permettent de ranger parmi ces facteurs :

— la présence de nombreuses pentes, périodiquement travaillées ;

— les vents dans les régions sableuses, quand les sols sont secs et nus ;

— les nombreuses pluies orageuses tombant quand le sol est nu ou insuffisamment couvert (printemps spécialement).

L'indication dans le cours du mémoire, des précipitations recueillies, pour les exemples cités, montre qu'une chute de pluie de 15 à 25 mm se produisant dans un court laps de temps, est suffisante pour raviner les sols (et les chemins empierrés) dans les cultures au début de leur période de croissance.

De telles précipitations ne sont pas exceptionnelles, ainsi que le montrent les relevés pluviométriques, dont nous donnons un extrait pour la Somme, et l'Oise au cours de 5 années relativement peu humides (604 mm contre 633 mm de moyenne à Amiens) (voir tableau I). Des pluies diluviennes ont également été relevées en différentes localités du département au cours de 8 années pour la période 1924-1936 (3).

TABLEAU I

Pluies dépassant 25 mm en 24 heures.

1. Somme. — Période 1945-49 11 postes (Pluies et Orages).

mm	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
25/31		3	2	2		2	6	7	6	7	1	3
31/41					1		1	6	3	1	1	
41/51		1					1	1	3		1	
> 51					2				2			

2. Oise. — Période 1945-49 23 postes : Grandes pluies (sans orages).

Seules ont été relevées les pluies dépassant 25 mm)

mm	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
25/31			3	6	5	2	2	17	10	11		10
31/41			1	2	1	3	1	9	8	1		5
1/51								2	3			1
> 51						1		2	4			

3. Oise. — Période 1945-49 : Orages avec précipitations importantes.

mm	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
10/21			3	4	23	28	10	18	16	1		
21/31					7	2	4	7	5			
31/41				1				3	1			
41/51								1	2			
51/61						1		1	1			
> 61						1						

La fréquence du ravinement que ces pluies peuvent causer est très variable. Suivant l'ensemble des conditions de milieu réalisé, la dégradation du sol a lieu annuellement ou tous les 2, 3, 5, 10 ans. Elle peut également être rare ou exceptionnelle. Anciennement, la fréquence de l'érosion paraît avoir été plus grande. DUCHAUSSOY (5) cite les nombreux rapports indiquant que telle commune a été ravagée. Le dépouillement des anciennes chroniques rassemblées par cet auteur, indique que 27 années sur 790, soit 3 à 4 fois par siècle, sans compter l'érosion plus banale, non notée, la Somme fut plus ou moins ravagée par les éléments naturels.

Il existait d'ailleurs des « fossés d'eaux sauvages » — dont l'entretien faisait l'objet de corvées au même titre que les routes — destinés à faciliter l'écoulement des torrents formés lors des gros orages ou des fontes de neige. Mais ces fossés qui semblent être, dans la plupart des cas, des vallées d'écoulement naturelles, plus ou moins aménagées, avaient surtout pour but de protéger les villages contre les inondations, sans que la défense du sol paraisse avoir été spécialement visée. Dans ces conditions en effet, le ruissellement avait la possibilité d'éroder les pentes avant son arrivée dans ces exutoires.

Historiquement il existe très peu ou même pas du tout de fossés de défense du sol dans la Somme (exception faite de la Plaine Maritime), pays de champs ouverts et de vaine pâture, les « frocs et flégards » constituant avec les mares un réseau de ruisseaux qui ne dépasse guère la périphérie des villages.

Par contre les travaux de défense du sol paraissent avoir été plus développés dans l'Oise [1].

Si malgré l'évidence et l'ancienneté de l'érosion, les sols existent encore, c'est sans doute que diverses causes ont pu la restreindre ou la rendre moins perceptible (épaisseur initiale du sol, faible extension des plantes sarclées dans le passé, diversité de l'exploitation générale, boisement plus important).

Le limon devait sans doute avoir à l'origine de la culture une forte épaisseur, ainsi actuellement, sa puissance atteint encore 18 m à Crèmery. Mais cette formation a souvent disparu des pentes, sans que l'on puisse faire d'ailleurs le départ entre l'érosion géologique et la dégradation des sols depuis les temps historiques.

Les sols de versants sont devenus, par remaniements divers et formation de profils tronqués, ce que nous sommes amenés à qualifier d'argiles à silex calcaires, de limons remaniés au contact de la craie, de limons « bieffeux » calcaires.

Lorsque la déclivité est forte, tout recouvrement argilo-limoneux est disparu et en haut des pentes crayeuses, le sol, qui n'a guère plus de 15 cm d'épaisseur, comporte souvent la moitié de cailloux et sa terre fine 60 à 70 p. 100 de Co_3Ca.

Il est donc permis de penser que l'érosion observée actuellement, s'est déjà manifestée dans le passé avec des effets d'importance variable. A l'origine de ces phénomènes se placent deux facteurs permanents (relief et climat) contre lesquels l'action de l'homme est pratiquement inopérante.

Cette évidence conduit à rechercher les facteurs susceptibles de favoriser et d'augmenter les dégâts de manière à tenter de contrecarrer ces éléments.

[1] DEMANGEON. La Picardie, p. 145.

III. — FACTEURS FAVORISANT L'ÉROSION

1. Sol nu.

Le premier est l'absence de couverture végétale : moins le sol est couvert et plus il sera sujet à souffrir de l'érosion, dès que les conditions climatiques sont suffisantes. Il y a d'ailleurs « effet de boule de neige » car la terre érodée, devenant moins fertile, porte des plantes moins vigoureuses qui constituent une protection moindre pour le terrain d'où dégradation du sol et ainsi de suite.

Cela s'observe dans notre région, en particulier en haut des pentes crayeuses, dont le sol est constitué de cailloux en quantité croissante et qui deviennent de plus en plus blanches.

2. Travail suivant la pente.

Le travail suivant la pente et spécialement les dernières façons, hersages, extirpages, facilite l'action érosive de l'eau. Ce mode de travail est d'ailleurs obligatoire dans les régions non remembrées où la longueur des pièces atteint couramment 10 à 20 fois leur largeur. La division des champs en pente, suivant celle-ci s'explique (au moins partiellement) par le désir de ne point défavoriser un membre de la famille, lors de partages d'héritages, la partie haute étant très généralement moins bonne que la partie basse (4). Actuellement le remembrement en s'efforçant de faire aboutir toutes les parcelles à un chemin peut aussi contribuer à disposer la longueur des pièces suivant la pente.

3. Les grandes pièces exploitées en monoculture.

Le travail suivant la pente étant nécessaire dans certains sols des terroirs morcelés, on ne doit pas en conclure que le remembrement permet d'entraver automatiquement la dégradation des sols.

En effet, il est reconnu que la création de grandes pièces facilite la défense des sols en permettant l'exécution des travaux suivant les courbes de niveau ou en bandes. Par contre, s'il est mal utilisé, le remembrement aura plutôt tendance à aggraver le mal. C'est ainsi qu'une grande étendue cultivée sans précautions en monoculture (par exemple : 20 ha de betteraves semées en ligne suivant la pente) résistera moins bien au ruissellement que la même surface divisée en petites pièces de formes et de dispositions variées, portant des cultures différentes, et qui ne laissent pas, de ce fait, le sol découvert au même moment. L'exemple de Serre-Hébuterne (photos 23-24) est, à cet égard, particuliérement démonstratif.

A cet inconvénient du remembrement, se rattache la tendance à éliminer tout ce qui entrave le travail mécanique (petits « rideaux » et ruptures de pente, haies, rideaux d'arbres,.. fossés,...)

4. Roue de tracteur et démariage des betteraves.

Ces deux éléments se rattachent au travail suivant la pente. En effet la roue de tracteur crée un creux continu quand son empreinte n'est pas effacée par une façon ultérieure (cas du roulage).

Dirigée suivant la pente, cette empreinte peut être l'amorce de rigoles (Moulin-sous-Touvent voir p. 96). Au contraire, le sabot du cheval, en tassant localement le sol, réalise des cuvettes séparées, constituant de petits réservoirs

FIG. 35. — Bouttencourt-Blangy. Dégradation des rideaux par le bétail.

pour l'eau. De cet effet il faut rapprocher la technique américaine de lutte contre l'érosion, technique qui consiste à réaliser à la surface du champ des bassins pour retenir l'eau de pluie (9).

Nous avons indiqué dans le compte rendu des observations, que le plaçage à la binette des betteraves, créait un creux continu suivant la ligne, par rejet de la terre dans les interlignes.

Il en résulte une surface légèrement ondulée, qui favorise la formation de rigoles si les lignes sont disposées suivant la pente, tandis qu'un semis effectué perpendiculairement à elle, constituerait un élément de défense.

5. Route et chemins empierrés.

La route a parfois ses fossés d'écoulement dirigés vers les champs, dans d'autres cas elle est séparée des champs par une berme insuffisante.

Elle est alors, sinon l'origine (Vaux, Marquenneville voir p. 103, Taisnil, Oresmaux) tout au moins un facteur d'augmentation des dégâts (Fresnes).

6. **Animaux.**

Le lapin de garenne, quand il est en trop grande abondance, réduit le couvert végétal. Son action s'observe plus spécialement près des bois et sous les « rideaux ». En haut des pentes, le sol souvent moins épais porte une végétation plus faible et plus clairsemée. Le lapin restreint encore la végétation et ramène le sol à l'absence, plus ou moins prononcée, de végétation.

Enfin, dans les pâtures traversées par des rideaux, le bétail en circulant librement, effondre peu à peu ces ressauts de terrain (6). Il y a là un inconvénient mineur si la pâture reste permanente, mais si le champ est régulièrement travaillé par la suite, on perd le bénéfice du fractionnement de la pente par les rideaux, fractionnement qui ralentit l'entraînement de la terre ainsi que nous l'avons observé (fig. 35).

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Les observations faites, jointes aux renseignements recueillis au cours de l'enquête et de la prospection, nous ont montré que certains phénomènes d'érosion se produisent en Picardie.

Leurs effets sont le plus généralement :

— Arrachement, et transport de terre vers les parties déclives, l'entraînement de terre se produisant souvent plus par rabotage du sol que par formation de rigoles.

— Plus rarement arrachage des betteraves, pommes de terre, mais plus souvent couverture des plantes, dans les parties basses sous les alluvions.

— Constitution de sols où domine le sable fin et le limon dans les fonds où l'eau peut s'évacuer vers l'aval, de sols argileux dans les dépressions fermées où l'eau doit disparaître par infiltration.

— Les périodes principales, propices à l'érosion sont la fin du printemps par orages, l'hiver par dégel pluvieux, le printemps pour l'érosion éolienne.

Les cultures les plus touchées apparaissent être les plantes sarclées et un certain nombre de facteurs sont favorables à une augmentation des dégâts.

En général l'érosion semble relativement légère, mais diverses remarques s'imposent.

— Les « bons sols » sont ici les formations limoneuses plus ou moins

épaisses reposant sur la craie. A mesure de leur entraînement la craie tend à les remplacer.

A l'inverse des sols formés sur roches volcaniques, — dont l'altération reconstitue un type de sol identique — la craie ne donne qu'un sol calcaire de fertilité nettement diminuée. Il y a donc intérêt à restreindre le plus possible cette perte de limon.

— On ignore actuellement comment se comporteront à longue échéance les grandes pièces exploitées en monoculture annuelle.

— Le climat semble plus sec, moins froid, avec moins de neige, d'orages violents qu'en certaines périodes passées, mais rien ne s'oppose au retour d'un climat plus tranché « à eaux sauvages » dont le terme indique bien la crainte, la fréquence, les effets.

En conséquence, pour parer aux dégâts possibles et à leur augmentation, l'agriculteur ne pouvant rien, actuellement, contre les éléments créant les conditions d'érosion, devra donc agir sur les facteurs qui peuvent en augmenter les effets.

Nous sommes ainsi amenés à conseiller quelques précautions en vue de réduire au minimum la dégradation des sols :

1° Semer le plus tôt possible au printemps et en automne de manière à ce que la végétation couvre rapidement le sol.

Une étude comparée de la rapidité de couverture des variétés des principales plantes pourrait être utile pour déterminer les races à préférer, à ce point de vue, en sols sujets à l'érosion.

Ce faisant, l'agriculteur bénéficie, en outre, des semis hâtifs :

— betteraves à maturité plus précoce accompagnée d'une augmentation de rendement ;

— céréales d'hiver semées en meilleures conditions et risquant moins la gelée dans la période où le grain est en lait.

2° Travailler suivant les lignes de niveau ou en bandes et pour faciliter cela, remembrer. A défaut, alterner sur les pentes les cultures annuelles ou pérennes par entente entre les différents exploitants.

3° Faire autant que possible des prairies bien fertilisées et exploitées rationnellement sur les pentes.

4° Peut-être créer ou restaurer des rideaux d'arbres là où l'érosion éolienne peut être importante. (La défense des dunes, ne serait-ce que par des plantations d'oyats, est défavorisée par le fait que la plantation d'un hectare d'oyats (1) coûte plus cher que ne vaut le terrain. Plaine Maritime-Nord.)

En ce qui concerne le sol il semble que l'on soit pris entre deux impératifs.

Pour éviter le ruissellement il faut que l'eau s'infiltre davantage. Il est donc nécessaire d'avoir une structure plus meuble, mais au delà

(1) *Psamma Arenaria*

d'une certaine limite, l'érosion est favorisée par cette structure meuble qui résiste peu à l'érosion.

On doit vraisemblablement être amené à choisir entre deux techniques suivant les conditions météorologiques locales habituelles :

— structure meuble pour averses fortes mais courtes ;
— structure compacte pour les pluies fortes et longues.

Ces deux modes devant d'ailleurs être reliés au type de sol :

— un sol argileux vite imperméable gagnera à être compact de manière à ce que la pluie coule sans entamer le sol ;
— un sol crayeux gagnera à être meuble, mais sa surface se bat rapidement.

Enfin pour parer à une augmentation possible de la pluviométrie, des chutes de neige, des orages, « prendre des assurances » en conservant les rideaux. A quelques raisons que soient dus ces accidents de terrain, il reste qu'actuellement ils coupent la pente, à la manière des terrasses et freinent l'activité du ruissellement.

RÉSUMÉ

Etude sur les phénomènes d'érosion en Picardie

La Picardie ayant la réputation d'être une plaine, il en résulte que peu d'attention est apportée à la dégradation des sols.

L'auteur s'est attaché à mettre en évidence les phénomènes d'érosion hydraulique et éolienne dans cette région aux nombreuses pentes cultivées.

L'examen des sols en place, des conditions topographiques, culturales, de l'entraînement de terre et des dépôts formés a permis de préciser les facteurs favorisant la dégradation des sols et, partant, de préconiser certaines techniques de nature à la contrarier.

L'analyse physique des échantillons de sol prélevés lors de l'observation de cas d'érosion, indique les variations de constitution des dépôts, comparativement à celle des parties érodées ou recouvertes d'alluvions.

SUMMARY

A study of erosion phenomena in Picardy

Picardy is usually considered as a plain, consequently, little attention is given to the degradation of her soils.

Evidence of water and wind erosion on many cultivated slopes was observed.

Investigations on field soils, topography, cultural conditions and the removal and deposition of soil resulted in determining the factors that promote soil degradation and recommending some technical measures of control.

Physical analysis of soil samples showed differences in the constitution of deposited material, as compared with eroded parts or areas re-covered by alluvia.

ZUSAMMENFASSUNG

Untersuchung der Erosionsvorgänge in der Picardie

Da die Picardie den Ruf hat eine Ebene zu sein, wurde wenig Interesse auf die Verschlechterung ihrer Böden durch Erosion gelegt.

Der Verfasser hat versucht die Wasser-und die Winderosionsvorgänge in dieser Gegend mit zahlreichen bebauten Hängen klar an den Tag zu legen.

Die Untersuchung der Böden an Ort und Stelle, der topographischen Beschaffenheit, der ackerbäulichen Bedingungen, des Wegspülens des Bodens und der gebildeten Ablagerungen erlaubte es die die Erosion begünstigende Faktoren näher zu kennzeichnen und somit gewisse Gegenmassnahmen anzuraten.

Die mechanische Analyse der bei Erosionsfällen genommenen Bodenproben zeigt, dass die Ablagerungen eine andere Zusammensetzung haben als die erodierten oder die von Alluvionen bedeckten Stellen.

РЕЗЮМЕ

Изучение явлений эрозии в Пикардии.

П. ЛЕФЕВР. (Амьенская агрономическая станция).

Так как Пикардия считается равниной, то мало внимания уделено деградации почв.

Автор поставил себе задачей обнаружить явления водной и ветревой эрозии в этой области, где имеется большое количество обрабатываемых склонов.

Изучение земель в поле, условій топографических, культивационных, размыва земли и образовавшихся наносов позволило определить факторы способствующие деградации почв и, зная их, указать некоторые методы ей препятствовать.

Физический анализ почвенных образцов, взятых при изучении случаев эрозии, позволяет видеть изменения в образовании наносов, по сравнению с составом эродированных частей или частей покрытых наносами.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Pour la documentation générale ont été consultés :

— les articles de S. HENIN consacrés à l'érosion en France (Voir C. R. Ac. Agr. 1956 p 394.

— le Manuel de Conservation du sol. Publication TC 292 du service des langues étrangères du département d'état des États-Unis.

(1) BOUCAU. — La France. Hatier éd.

(2) BOURCART. — Les Mécanismes de l'Érosion. Centre de Documentation Universitaire, éd. Paris.

(3) Bulletin de la Commission Météorologique de la Somme.

(4) DANZEL D'AUMONT. — Étude sur la propriété foncière et réponses faites à l'enquête sur la situation et les besoins de l'agriculture. Amiens 1866.

(5) DUCHAUSSOY. — Météorologie du département de la Somme. Mém. Sté Linnéenne du Nord de la France, t. 8, 1889-91. Amiens 1892.

(6) LEFÈVRE (P.). — Les Affleurements des formations géo-pédologiques picardes. *Bull.* A. F. E. S., nº 85, mars 1957.

(7) DE MARTONNE. — La France. Géographie physique. Armand Colin éd.

(8) PINCHEMEL. — Les Plaines de craie du Nord-Ouest. Armand Colin éd.

(9) RUSSEL LORD. — To hold this Soil. Miscellaneous publication nº 321. U. S. Dept. of Agriculture 1938.

DOCUMENTATION

I. — MÉTHODES ET TECHNIQUES

631. 417. 745. 746 : 631. 423. 4

STEVENSON (F .J.). — **Recherches sur les polysaccharides aminés dans les sols. I. Détermination colorimétrique des hexosamines dans les hydrolysats de sols.** (Investigations of amino polysaccharides in soils : I. Colorimetric determination of hexosamines in soil hydroysates). *Soil Science*, 83, *volume* février 1957, nº 92, p. 113-122.

L'auteur a mis au point une méthode pour isoler et déterminer colorimétriquement les hexosamines dans les hydrolysats de sols. Les substances, gênantes pour la colorimétrie, sont éliminées après passage sur des résines.

La méthode demande seulement une petite quantité de sol (2 grammes) et elle permet l'analyse rapide d'un grand nombre d'échantillons.

De 7,6 à 24 p. 100 de l'azote des sols est de l'azote provenant d'hexosamines.

Pour un type de sol donné, la matière organique d'un sol cultivé est plus riche en hexosamines qu'un sol inculte.

Pour deux sols examinés, la matière organique des horizons B contient plus de sucres aminés que celle des horizons A.

G. S.

II. — SOLS

A. — Propriétés physiques et mécaniques.

631. 414. 3. 03 : 631. 8 : 631. 67

PRATT (P. F.). — **Influence des engrais et des matières organiques sur la capacité d'échange de cations d'un sol irrigué.** (Effect of fertilizers and organic materials on the cation-exchange capacity of an irrigated soil). *Soil Science*, vol. 83, février 1957, nº 2, p. 85-89.

L'auteur a étudié l'influence des engrais et des matières organiques sur la capacité d'échange des cations d'un sol sablo-limoneux, planté de citronniers.

Les apports d'engrais tels que phosphate, urée et potasse n'ont aucun effet sur cette capacité d'échange. Bien que des fortes quantités de potassium soient fixées dans le sol, on n'observe pas de réduction notable de cette capacité d'échange.

La capacité d'échange de cations de la partie superficielle du sol (0 à 15 cm) est en relation avec la teneur en carbone. La matière organique ne bloque pas la capacité d'échange de cations de l'argile. La capacité d'échange de cations de la matière organique reste la même quelle que soit la matière organique ajoutée.

G. S.

II. — SOLS

B. — Propriétés chimiques et physico-chimiques.

631. 417 — 1. 416 : 631. 414. 3

BROADBENT (F. E.) et OTT (J. B.). — **Complexes matière organique- métal. I. Facteurs affectant la rétention de différents cations.** (Soil organic matter-metal complexes. I. Factors affecting retention of various cations). *Soil Science*, volume 83, juin 1957, nº 6, p. 419-427.

Les cations polyvalents sont retenus par la matière organique sous forme de complexes, dont les conditions de formation ont été étudiées par les auteurs.

En solution diluée, la matière organique forme des complexes dont la quantité dépend de la concentration en cations, du pH, de la nature du cation, et du temps de contact.

Ce taux de formation est rapide et est apparemment limité principalement par le taux de diffusion des cations dans la phase solide. De très petites différences existent dans la stabilité des complexes de barium, calcium, magnésium et cuivre; dans leurs expériences, les auteurs ont trouvé $Ca > Ba = Ce \geqslant Mg$.

G. S.

631. 423. 7

WAHHAB et AHMAD. — **Améliorations dans la détermination de la capacité d'échange de cations des sols.** (Improvements in determining cation-exchange capacity of soils). *Soil Science*, vol. 83, nº 6, juin 1957, p. 429-4.

Pour déterminer la capacité d'échange des cations, les auteurs ont mis au point une méthode qu'ils ont comparée avec d'autres. Elle est caractérisée par le maintien de la solution d'extraction à 70ºC pendant deux heures. Les résultats obtenus sont comparables avec ceux donnés par la méthode de l'A.O. A C. (Association des chimistes officiels agricoles).

G. S.

631. 811. 2. 031

RUSSELL (R. S.), RUSSELL (E. W.) et MARAIS (P. G.). — **Les facteurs de l'alimentation phosphatée des plantes dans le sol. I. Relations entre le phosphore isotopiquement diluable et l'absorption.** (Factors affecting the ability of plants to absorb phosphate from soils. I. The relationship between labile phosphate and absorption). *Journ. of Soil Sc.*, 1957, vol. 8, nº 2, p. 248-267.

Etude de la relation entre l'absorption du phosphore par les plantes et la teneur en phosphore isotopiquement diluable de divers sols de pouvoirs fixateurs différents. Le phosphore isotopiquement diluable est déterminé d'une part par agitation du sol avec ^{32}P, d'autre part par la méthode de LARSEN (cultures de plantes). Les deux méthodes fournissent des résultats voisins, mais non identiques (respectivement, valeurs E et L).

Chacun des sols étudiés a reçu des doses croissantes d'engrais phosphatés. Après des temps divers, les valeurs E et L ont été de nouveau déterminées, et des cultures de plantes ont été effectuées. Une large portion du P apporté par les engrais est retrouvée sous forme isotopiquement diluable. Pour un même type de sol, les quantités de P absorbées par les plantes sont une fonction bien

définie de E et de L. Dans des sols différents, l'alimentation des plantes n'est cependant pas du tout proportionnelle à E ou L. Ces valeurs n'indiquent le niveau phosphorique des sols qu'à l'intérieur d'un type déterminé. De façon générale, l'alimentation dépend plus du pouvoir adsorbant du sol que de la teneur en P isotopiquement diluable.

Les auteurs proposent une interprétation des résultats découlant des concepts de « capacité » (stock) et de « potentiel » (activité) indiqués par SCHOFIELD. Ils émettent des réserves quant à la grande supériorité des méthodes isotopiques sur les méthodes chimiques. R. B.

631. 416.2 : 631. 432. 3

CECCONI (C. A.). — **La mobilité des diverses formes du phosphore dans le sol.** (La mobilità delle diverse forme del fosforo nel suolo). *Agrochimica*, 1957, t. 1, n° 4, p. 338-349.

L'auteur étudie principalement la mobilité du phosphore dans le profil du sol. Cette mobilité n'est pas une fonction directe du pH ; bien qu'elle soit réduite dans les sols acides, le rapport SiO_2/R_2O_3 de la fraction argileuse exerce une influence marquée. L'adsorption par les hydroxydes métalliques est intense lorsque ce rapport est inférieur à 2.

Les deux déterminations suivantes sont proposées :

a) P_2O_5 extractible par le réactif de TAMM (solution acide d'oxalate d'ammonium, pH 3,3) : composés ferro-aluminiques.

b) P_2O_5 extractible par l'acide acétique à pH 3,3 : P_2O_5 lié au calcium échangeable ou au calcaire.

Le rapport *a*/*b* varie de 0,5 à 9. Lorsque ce rapport est inférieur à 2, la mobilité du phosphore est élevée. Elle est de plus en plus réduite lorsque ce rapport augmente. R. B.

631. 416. 2 : 631. 414. 3

ESCHENA (T.). — **Applications de l'électrodialyse aux recherches sur la mobilisation des phosphates dans le sol.** (Applicazione dell'elettrodialisi alle indagini sulla mobilizzazione dei fosfati nel terreno). *Agrochimica*, 1957, t. 1, n° 4, p. 365-377.

Des argiles diversement saturées en calcium ont été enrichies en phosphore, puis soumises à l'électrodialyse. Une brusque augmentation du P extrait par électrodialyse se manifeste lorsque le degré de saturation en calcium de l'argile atteint 62 p. 100. Pour l'argile considérée, le pH est alors voisin de 5 ; il correspond au point isoélectrique des sesquioxydes. Il existerait donc une double influence du pH sur la mobilité du phosphore : d'une part par le degré de saturation en Ca de l'argile, d'autre part à travers les propriétés électriques des sesquioxydes. R. B.

C. — Eléments traces.

631. 416. 847 : 631. 811. 94. 47. 031 : 633. 15

MASSEY (H. F.). — **Relation entre le zinc du sol, extractible à la dithizone et l'absorption du zinc par le maïs.** (Relation between dithizone extractable zinc in the soil and zinc upttake by corn plants). *Soil Science*, vol. 83, février 1957, n° 2, p. 123-129.

L'auteur a étudié les relations qui existent entre deux variables d'un sol, le pH (X_1) et le zinc extractible à la dithizone (X_2) et l'absorption

du zinc par le maïs (Y). Les expériences ont été faites en serre sur 34 sols du Kentucky.

Il est arrivé à l'équation $Y = 99{,}2 - 12{,}2\ X_1 + 10{,}9X_2$. Une valeur de Y voisine de 40 permet de différencier les sols carencés en zinc de ceux qui ne le sont pas.

G. S.

D. — Rapport avec les cultures.

631. 436 : 631. 811. 031 : 633. 16 + 633. 853. 52

WALLACE (Arthur). — **Influence de la température du sol sur l'absorption des cations par l'orge et le soja.** (Influence of soil temperature on cation uptake in barley and soybeans). *Soil Science*, vol. 83, mai 1957, nº 5, p. 407-411.

L'auteur a étudié l'absorption des éléments nutritifs par l'orge et le soja dans des sols dont la température était 12, 22 et 32ºC.

L'absorption du K, Mg et du Ca peut être stimulée ou ralentie suivant la température.

Quand la température s'élève, la teneur en K des sojas augmente, celle de l'orge croît elle aussi, puis décroît.

Le calcium et le magnésium se comportent de manière inverse au potassium.

G. S.

633. 15 : 581. 192. 1 : 631. 445

PRINCE (Arthur L.). — **Influence de la nature du sol sur la composition minérale des tissus de maïs d'après l'analyse spectrographique.** (Influence of soil types on the mineral composition of corn tissues as determined spectrographically). *Soil Science*, vol. 83, mai 1957, nº 5, p. 399-405.

Les expériences ont porté sur cinq sols différents et des échantillons de maïs ont été prélevés à trois stades de la croissance.

L'auteur a fait des analyses spectrographiques sur chaque échantillon ainsi que sur certaines plantes prélevées dans les mêmes terres. Cu, Al, Fe, Mn, Sr, Zu, Mo, Sn, Co, Cd, Ga, Bi, V, Ni, Ti, Pb, Cr, K, Ca et Mg sont analysés quantitativement. L'auteur décrit une méthode semi-quantitative qu'il a employée pour le B et le P.

A la fin de l'article, l'auteur discute la distribution de chaque élément dans la plante ainsi que les variations suivant les sols étudiés.

G. S.

E. — Microbiologie.

631. 461. 3

LLOYD (R. Frederick). — **Formation de nitrates à partir de l'azote ammoniacal dans les sols. Influence de la population nitrifiante.** (Formation of nitrate from ammonium nitrogen in soils : 2 Effect of population of nitrifiers). *Soil Science*, vol. 83, nº 6, juin 1957, p. 481-485.

Dans le sol de Genesee, de pH 7,7, les nitrates sont formés à toutes les températures, comprises entre 2 et 35ºC. Par contre dans les sols de Clermont (pH 7,4) et de Mellott C (pH 7,8), on ne les trouve que pour des températures comprises entre 15 et 35ºC.

Un temps de latence existe pour ces deux sols ; de plus des comptages y révèlent une faible proportion de nitrificateurs.

Le faible taux de nitrification, existant dans certains sols, aux basses températures serait dû à leur pauvreté en nitrificateurs et au très lent développement de ceux-ci plutôt qu'à une inactivation de la nitrification elle-même.

G. S.

G. — Améliorants physiques. Travail du sol.

631. 425. 4 : 631. 828 — 1. 434.

JONES (M. B.) et MARTIN (W. P.). — **Méthodes pour évaluer la stabilité des agrégats à la suite d'un traitement avec H.P.A.N. et influence de différents sels non organiques.** (Methods of evaluating aggregate stabilization by H.P. A. N. as it is affected by various inorganic salts). *Soil Science*, vol. 83, juin 1957, nº 6, p. 475-479.

Les auteurs ont employé trois méthodes pour tester l'efficacité des améliorants de sols.

Avec la méthode « d'arrosage », l'agrégation n'augmente pas aussi rapidement avec la concentration de l'améliorant qu'avec la méthode d'Hedrick ni qu'avec celle de « pulvérisation ».

Quand certains composés sont ajoutés au sol, en solution, les auteurs ont constaté que la stabilité des agrégats est réduite par la présence de Mg $(NO_3)_2$, $MgCl_2$, $Ca(NO_3)_2$ et $CaCl_2$ et diminuée par celle de KOH, NaoH, $Mg(OH)_2$ et KH_2PO_4.

Dans les séries Ca, Mg, NH_4, H, Na, K et No_3, Cl,So_4, H_2PO_4, OH, les ions les premiers cités réduisent l'agrégation en général et les derniers sont beaucoup moins efficaces.

Les engrais 13-26-13, composés de NH_4NO_3, $NH_4H_2PO_4$ et KCl et de $(NH_4)_2SO_4$, $NH_4H_2PO_4$ et KNO_3 entraînent une diminution de l'agrégation quand ils sont mélangés avec H.P.A.N., tandis que l'engrais formé de $Co(NH_2)_2$, NaH_2PO_4 et K_2HPO_4 augmente cette agrégation.

Il a été noté que l'agrégation est influencée quand le sel non organique est mélangé avec la solution de H.P.A.N. ou ajouté au sol avant la solution d'H.P.A.N.

Quand H.P.A.N. est ajouté au sol en premier, et une fois les agrégats stabilisés, les sels non organiques agissent alors peu sur l'améliorant.

G. S.

631. 828 — 1. 434 : 631. 414. 3. 03

ALLISON. — **Action des polymères améliorants de sols sur la capacité d'échange des cations.** (Effect of soil conditioning polymers on the cation exchange capacity). *Soil Science*, vol. 83, mai 1957, nº 5, p. 391-397.

La capacité d'échange de cations de plusieurs sols de l'ouest est toujours augmentée quand les sols sont traités au laboratoire avec des doses allant de 0,05 à 0,40 p. 100 de V.A.M.A., H.P.A.N. et I.B.M.A. Cette augmentation varie de 2 à 12 p. 100 suivant les taux employés.

L'auteur a obtenu un accroissement appréciable de la capacité d'échange des cations dans deux expériences au champ, faites sur un sol riche en sodium échangeable. Dans le premier essai (1951-56) 0,1 p. 100 de V.A.M.A. produit une augmentation de 8,3 p. 100 de la capacité d'échange, et dans le second, 0,2 p. 100 de V.A.M.A. ou H.P.A.N. entraînent un accroissement de cette capacité de l'ordre de 12 p. 100.

G. S.

III. — FERTILISATION DES SOLS

H. — Oligo-éléments.

631. 811. 94. 031 : 539. 16

ROMNEY, NEEL, NISHITA, OLAFSON et LARSON. — **Absorption par les plantes du Sr_{90}, Y_{91}, Ru_{106}, Cs_{134} et Ce_{144} des sols.** (Plant uptake of Sr_{90}, Y_{91}, Ru_{106}, Cs_{137} and Ce_{144} from soils). *Soil Science*, vol. 83, mai 1957, n° 5, p. 369-376.

Les auteurs ont fait leurs expériences en pots dans des serres, afin d'évaluer la capacité d'absorption de l'orge, du haricot, de la carotte, de la laitue et du radis vis-à-vis du Sr_{90}, Y_{91}, Ru_{107}, Cs_{137} et Ce_{144} dans différents sols. Seul le Sr_{90} est absorbé et il se concentre en grande partie dans les tissus foliaires.

C'est dans les collets des radis que s'accumule la plus grande quantité de Sr_{90} par unité de poids, puis ensuite par ordre décroissant dans les feuilles de haricots, de carottes, de laitues et d'orge.

La nature du sol influence cette absorption. Les plus forts taux de Sr_{90} sont trouvés chez des plantes de sols acides pauvres en calcium, et les plus faibles chez celles de terres alcalino-calcaires.

Cette capacité d'absorption des plantes pose de sérieux problèmes dans le cas où les sols seraient contaminés par des produits de fission nucléaire. Une seule culture ne suffirait pas à décontaminer le sol : il faudrait un certain temps et la décontamination serait plus efficace dans les sols acides que dans les terrains alcalino calcaires.

G. S.

631. 811. 94. 27 : 632. 16 : 546. 27

SKOK (J.). — **Substitution de substances complexantes au bore dans la croissance des végétaux.** (The substitution of complexing substances for Boron in plant growth). *Plant Physiology*, 32, n° 4, p. 308-312, 1957.

Divers éléments tels le strontium, le germanium et l'aluminium forment des complexes semblables à ceux du Bore. Le but de cette étude est de déterminer si certains de ces éléments peuvent se substituer partiellement au Bore dans la croissance des végétaux.

Les résultats prouvent, en effet, que la déficience en Bore est atténuée temporairement par ces éléments complexants. Ceci suggère que le rôle physiologique du Bore est en partie lié à la propriété complexante de l'ion Borate, mais la base de cette relation n'a pas été trouvée. Après les études sur la migration du saccharose marqué et les expériences sur l'action des applications de sucre et d'acide citrique à des plantes déficientes en Bore, il ne semble pas que le Bore soit directement fonctionnel, dans ces migrations, par la formation d'un complexe borate-sucre.

M. G.

631. 811. 94. 77 : 635. 35

CANDELA (M. I.), FISHER (E. G.) and HEWITT (E. J.). — **Le molybdène, aliment de la plante. X. Quelques facteurs agissant sur l'activité de la nitrate réductase du chou-fleur cultivé avec différentes sources d'azote et différentes doses de molybdène. En culture sur sable.** (Molybdenum as a plant nutrient. X. — Some factors affecting the activity of Nitrate

Reductase in cauliflower plants grown with different Nitrogen sources and Molybdenum levels in sand culture. *Plant Physiology*, 32, nº 4, p. 280-288, 1957.

Des choux-fleurs variété « Majestic » sont cultivés sur sable avec des teneurs déficientes, normales et excessives de Molybdène et de l'azote fourni sous forme de Nitrate, Nitrite ou Sulfate d'Ammonium.

La nitrate-réductase est extraite soit en écrasant les feuilles avec du sable au mortier, soit par macération dans un mixer avec une solution tampon à O°C. Ces méthodes donnent des résultats comparables, ceux de la seconde étant cependant un peu plus faibles. Le pH optimum du tampon au phosphate est environ 7,2. Les activités sont exprimées en activité totale : millimicromolécules de Nitrite produites en 10 ou 20 minutes par 0,2 ou 0,5 ml d'extrait et en activité spécifique : millimicromolécules de Nitrite produites en 1 minute par mg de protéine.

L'activité nette de la nitrate-réductase est maximum dans les feuilles pleinement développées et est réduite dans les feuilles âgées et les jeunes feuilles se développant rapidement.

L'activité nette totale est plus grande dans les extraits de feuilles que dans les tiges et les pétioles, elle est extrêmement faible dans les racines. L'activité spécifique est beaucoup plus grande dans les pétioles que dans les feuilles ou les tiges.

La source d'azote modifie aussi l'activité de la nitrate-réductase. Elle est forte dans les plantes recevant du nitrate ou du nitrite, plus faible mais pas négligeable dans les plantes recevant du sulfate d'ammonium.

Les activités nettes totale et spécifique de la nitrate-réductase, dans les régions montrant une activité maximum sont plus faibles dans les plantes cultivées sans Molybdène que dans les plantes normales. Dans les régions possédant une activité minimum, ces différences sont petites. Les plantes recevant des excès de Molybdène ne semblent pas posséder plus d'activité que les plantes normales. L'action du Molybdène est plus grande dans les plantes recevant du nitrate que dans celles recevant du sulfate d'ammonium.

L'activité de la nitrate-réductase est augmentée pendant 18 à 24 heures lorsque le Molybdène peut s'infiltrer dans les feuilles de plantes déficientes.

Les activités de la nitrate-réductase sont fortement réduites par un séjour des plantes pendant 2 à 6 jours à l'obscurité ; elles augmentent de nouveau en quelques heures lorsque la lumière est rétablie. L'exclusion de l'air pendant 48 heures produit les mêmes phénomènes.

Les changements dans l'activité de la nitrate-réductase ne sont pas intimement liés à la teneur totale en protéine soluble des tissus. La distribution de l'enzyme dans les plantes cultivées avec divers niveaux de Mo et diverses sources d'azote est fortement différente de la distribution de la protéine qui est cependant semblable à celle d'un autre enzyme : l'acide phosphatase.

M. G.

IV. — PRODUCTION VÉGÉTALE

A. — Phytotechnique.

633. 31 : 581. 192 : 631. 552

BONSEMBIANTE (M.), DESSANTI (A.). — **Recherches sur la production et la teneur en éléments nutritifs de la luzerne, suivant les coupes et les stades végétatifs.** (Ricerche su la produzione e il contenuto in sostanze

nutritive dell' erba medica in vari tagli e stadi vegetativi). *Annali della sperimentazione agraria*, p. 1373 à 1405, vol. XI, nº 6.

Deux blocs expérimentaux ont été établis sur luzerne dans la plaine de Padoue, afin de déterminer l'époque de coupe la plus adéquate.

Les échantillons prélevés sur les coupes de printemps, d'été, d'automne ont été analysés.

Des résultats se dégagent les conclusions suivantes :

1º Les différentes coupes ne montrent pas de variations sensibles de l'extrait à l'éther, des extraits sans azote et des cendres.

2º Plus le stade végétatif est avancé, plus la valeur nutritive, les protéines et le phosphore diminuent, plus les fibres grossières et le calcium augmentent.

3º Le rapport Ca/P le plus favorable, la valeur nutritive maximum et le pourcentage maximum de matières nutritives brutes sont observés dans les premières coupes tandis que la production en U. F./ha et en protéines augmente avec le stade végétatif de la luzerne.

S. M.

634. 8 (45)

COSMO (I.), COMUZZI (A.), SAVIAN (A.). — **Recherches sur la reconstitution viticole de la province de Venise. 2e étude : Zone du Piave.** (Indagini sulla ricostituzione viticola in provincia di Venezia. Secondu contributo : Zona del Piave). *Annali della sperimentazione agraria*, p. 1419 à 1459, vol. XI, nº 6.

Les auteurs mentionnent les résultats obtenus sur trois vignes expérimentales dans la zone du Piave (Province de Venise).

De leurs conclusions, les viticulteurs futurs tireront des indications utiles.

S. M.

634. 8 (45)

COSMO (I.), COMUZZI (A.), SAVIAN (A.). — **Recherches sur la reconstitution viticole de la province de Venise. 3e étude : Zone de Brenta.** (Indagini sulla ricostituzione viticola in provincia di Venezia. Terzo contributo Zona del Brenta-Dese). *Annali della sperimentazione agraria*, p. 1459 à 1475, vol. XI, nº 6.

Les auteurs préconisent la substitution de Clinton par Vitis vinifera.

S. M.

IV. — PRODUCTION VÉGÉTALE

B. — Physiologie végétale.

633. 491/492 : 581. 133. 1

THIMANN (Kenneth V.) et LOOS (Gordon M.). — **Synthèse protéinique au cours de la fixation d'eau par le tissu des tubercules.** (Protein synthesis during water uptake by tuber tissue). *Plant physiology*, 32, nº 4, p. 274-279, 1957.

Dans la présente expérience est étudiée la formation des protéines à partir des acides aminés, pendant la fixation d'eau, dans les tissus de pomme de terre et de topinambour. Aucune division cellulaire appréciable ne survient dans ces tissus pendant la période d'étude. Les tissus sont broyés en chambre froide à

3°C. Le filtrat est divisé en deux parties dont l'une est soumise au Kjeldahl, l'autre est bouillie pendant 3 minutes, filtrée, et l'azote du filtrat et du précipité déterminés.

Dans les disques de pomme de terre fraîchement coupés, une petite quantité d'azote coagulable par la chaleur échappe à la précipitation par l'acide trichloracétique. Cette fraction peut être constituée par des polypeptides et disparaît lorsque les échantillons fixent l'eau pendant la période comprise entre 2 et 4 jours.

La protéine est rapidement synthétisée dans les disques de pomme de terre pendant les deux premiers jours après l'équilibre, lorsque la fixation de l'eau est faible.

Le topinambour montre un comportement semblable avec cette différence que pendant la période de 2 à 4 jours la synthèse donne lieu à une hydrolyse.

Dans les deux sortes de tissus, l'acide naphtalène-acétique augmente fortement la synthèse de la protéine les 2 premiers jours. L'importance de l'augmentation est proportionnelle à l'augmentation de la fixation d'eau.

Il est suggéré que les protéines synthétisées comprennent des enzymes et que ce phénomène peut expliquer les augmentations d'activités enzymatiques fréquemment observées après un traitement aux auxines.

M. G.

581. 142 : 581. 192. 2

RICHARDSON (Keith E.) et AXELROD (Bernard). — **Variations dans la teneur en inositol au cours de la germination et de la croissance de quelques végétaux supérieurs.** (Changes in the Inositol content during germination and growth of some higher plants). *Plant Physiology*, 32, n° 4, p. 334-37, 1957.

Six espèces sont expérimentées : choux, maïs, haricot, pois, soja et blé.

Pour toutes ces espèces, il se produit une perte initiale dans la teneur totale en inositol pendant la germination effectuée à la lumière. La même diminution est observée pour des pois et des haricots étiolés.

Cette diminution ne semble pas être due à une perte en inositol par diffusion hors des racines.

La perte initiale en inositol est suivie d'une augmentation, tandis que les plantes, cultivées à la lumière, poursuivent leur développement.

Les pois étiolés âgés de 10 jours et les gousses de pois non parvenus à maturité peuvent synthétiser l'inositol à partir de $C^{14}O_2$ à l'obscurité, la formation de l'inositol à partir de $C^{14}O_2$ n'a pas été étudiée. L'inositol radioactif ainsi obtenu est identique à l'inositol normal dans son comportement chromatographique pour tous les solvants utilisés.

M. G.

634. 11 : 577. 16

ASSELBERGS (E. A. M.). — **Etudes sur la formation de l'acide ascorbique dans des feuilles de pommier détachées.** (Studies on the formation of Ascorbic Acid in detached apple leaves). *Plant physiology*, 32, n° 4, p. 326-329, 1957.

Une solution à 0,1 p. 100 de D-gluconolactone augmente la teneur en acide ascorbique des feuilles détachées de pommier après 24 heures d'éclairement à lalumière artificielle. Après 48 heures, l'augmentation obtenue avec D-gluconolactone, L-gulonolactone, acide D-galacturonique, glucose et fructose n'est pas plus élevée que dans le témoin.

Des analyses montrent que les variations trouvées dans la teneur en acide ascorbique des feuilles de pommier ne dépendent pas de l'âge ni de la position sur l'arbre, ni du poids frais de feuille, ni de la longueur de l'internœud. Cependant il existe un coefficient de corrélation élevé entre la teneur en acide ascorbique et la surface de la feuille, ce qui indique une relation étroite entre la photosynthèse et la formation de l'acide ascorbique dans les feuilles de pommier.

La sensibilité de la synthèse de l'acide ascorbique à la lumière est confirmée par des expériences au $C^{14}O_2$ mais les résultats indiquent que seulement certaines phases de cette synthèse sont sensibles à la lumière.

M. G.

635. 64 : 631. 811. 5 + 631. 811. 93

WOOLLEY (Joseph T.). — **Le sodium et la silice, comme aliments des plants de tomate.** (Sodium and Silicon as Nutrients for the Tomato plant). *Plant Physiology*, 32, n° 4, p. 317-321, 1957.

Des plants de tomate sont cultivés sur solution en vases de polyéthylène dans des serres équipées de filtres à air. Les sels nutritifs sont purifiés par recristallisation. L'eau est redistillée dans le Pyrex avec un réfrigérant en polyéthylène.

La matière sèche des plantes augmente de 12 p. 100 par addition de Na au taux de 1 millimolécule de ClNa par litre de solution de culture. Aucune augmentation de rendement n'est obtenue en ajoutant ensemble Si et Al à la concentration de 3 atomes microgrammes par litre de solution de culture.

Le sodium, dosé au photomètre de flamme est de 0,09 atome microgramme par gramme de plantes séchées, lorsqu'il n'y a pas de sodium ajouté intentionnellement.

La silice est dosée par la méthode au silicomolybdate. La concentration de Si par gramme de plantules séchées est de 0,15 atome microgramme lorsqu'il n'est pas ajouté intentionnellement de silice.

L'aluminium n'a pas été dosé.

Il est conclu que si le sodium ou la silice sont essentiels dans la croissance et le développement des plants de tomate, le sodium serait requis en quantités inférieures à 0,1 atome microgramme et la silice à moins de 0,2 atome microgramme par gramme de poids sec de la plante. Il n'y a pas de doute que de vraies carences en Na, Si ou Al ne seront jamais rencontrées dans la pratique agricole. Les actions, parfois bénéfiques, du sodium pourraient être expliquées par un effet indirect ou par l'influence de l'anion qui l'accompagne.

M. G.

631. 811. 3 — 1. 811. 4 : 633. 15 + 633. 853. 52

KAHN (J. S.) et HANSON (J. B.). — **Action du calcium sur l'accumulation du potassium dans les racines de maïs et de soja.** (The effect of Calcium on Potassium accumulation in Corn and Soybean roots). *Plant Physiology*, 32, n° 4, p. 312-316, 1957.

Le calcium, le magnésium et d'autres ions di et trivalents favorisent la fixation du potassium par les plantes.

Les expériences montrent que le maïs accumule plus de potassium et moins de calcium que le soja cultivé sur la même solution.

Pour ces 2 espèces, Ca augmente l'affinité entre l'ion K et le transporteur ; dans une seconde réaction indépendante de la première, Ca diminue la rapidité

de la phase métabolique de fixation de K, la première réaction étant proportionnellement plus forte dans le maïs, la seconde étant proportionnellement plus grande dans le soja. En résumé, l'accumulation maximum de K, en présence de Ca, est réduite plus fortement chez le soja que chez le maïs.

Ce phénomène pourrait expliquer partiellement les rapports relativement élevés de K/Ca dans le maïs comparés à ceux du soja, cependant il est noté que le soja, même en l'absence de Ca, est moins apte à fixer du potassium.

M. G.

V. — DIVERS

632. 2 : 631. 462 : 632. 955

GORING (C. A. I.) et YOUNGSON (C. R.). — **Facteurs influençant la destruction des nématodes par le dibromure d'éthylène dans le sol.** (Factors influencing nematode control by ethylene dibromide in soil). *Soil Science*, vol. 83, mai 1957, nº 5, p. 377-389.

Les auteurs ont étudié au laboratoire et en serre les destructions de nématodes par le dibromure d'éthylène, dans un sol fin sablo-limoneux contenant 0,2 p. 100 de carbone organique.

Pour des injections profondes de 15 cm et voisines les unes des autres de 30 cm, la plus grande variation du taux de destruction des nématodes apparaît dans le sens vertical. Quand le sol est enrichi avec 5 p. 100 de matière organique, ou quand les injections sont distantes de 60 ou 90 cm, les variations apparaissent aussi bien dans le sens vertical que dans le sens horizontal. Quand la porosité du sol passe de 53 à 27 p. 100, le taux de diffusion du dibromure d'éthylène diminue.

Une augmentation de l'humidité du sol de 7,5 à 20 p. 100, associée avec une diminution de la matière sèche par unité de volume du sol, amène une augmentation des attaques des nématodes.

L'addition de 5 p. 100 de fumier de bouvillons ou de feuilles de chêne décomposées, diminue la profondeur à laquelle sont détruits les nématodes.

G. S.

671 (45)

GIOVANNINI (E.). — **Contribution à la connaissance des eaux d'irrigation. Note I : Les eaux courantes de surface et les eaux de puits de la Plaine de Catanie et des zones limitrophes.** (Contributo alla conoscenza delle acque di irrigazione. Nota I : Le acque correnti di superficie e le acque di pozzo delle Piana di Catania e zone limitrofe). *Annali della sperimentazione Agraria*, p. 1319 à 1355, vol. XI, nº 6.

Dans le cadre du plan d'aménagement de la Sicile orientale, l'Institut de Chimie agricole de l'Université de Catanie a commencé une étude systématique des eaux susceptibles d'être utilisées pour l'irrigation.

Les auteurs publient les résultats des eaux de plusieurs rivières, torrents, lacs et puits de cette région.

Certaines de ces eaux, trop riches en sels sodiques, ne peuvent être destinées à l'irrigation. L'utilisation de la plupart d'entre elles dépend de la nature du sol à irriguer.

Ultérieurement, sur d'autres eaux, seront effectués des dosages de microéléments.

S. M.

BIBLIOGRAPHIE

631. 46 (02)

POCHON (J.) et BARJAC (H. de). — **Traité de microbiologie des sols. Applications agronomiques.** (Paris, Dunod, 1958, 16 × 25, 700 p., illustr., Prix : 6.500 frs.

La microbiologie du sol est en pleine expansion en France et dans le monde entier ; le fait que les micro-organismes conditionnent la vie du sol et régissent donc, pour une large part, sa fertilité, ne fait plus de doute. Aussi, on prendra connaissance avec intérêt des questions capitales qui relèvent directement de la microbiologie et qui trouvent dans cet ouvrage récemment publié chez Dunod, leur mise au point indispensable.

Les auteurs envisagent la microbiologie du sol essentiellement sous ses aspects écologiques et dynamiques ; la description des espèces et de leur physiologie (Bactéries, Actinomycètes, Champignons, Algues et Protozoaires) est orientée vers l'analyse de leur rôle dans la biologie du sol et des végétaux. Des chapitres de synthèse sont plus spécialement consacrés à l'aspect agronomique de certains problèmes : inter-relations entre les plantes et les microorganismes, action des engrais organiques et inméraux, amélioration et conservation biologiques des sols.

Ce livre doit rendre d'incontestables services aux étudiants des Instituts et Ecoles agronomiques, à ceux des Facultés des Sciences, de Pharmacie, de Médecine qui veulent acquérir des notions à la fois analytiques et synthétiques de biologie générale.

Pour les laboratoires de recherches spéciales, il sera d'une précieuse utilité par son imposante bibliographie (2 500 références, avec index de matières et d'auteurs). Les bactériologistes notamment y trouveront la nomenclature et la description d'espèces, dont le rôle est essentiel, et qui ne sont pas étudiées dans les Traités de Bactériologie médicale.

576. 8 : 63 : 663

GIRARD (H.) et ROUGIEUX (R.). — **Techniques de microbiologie agricole.** Paris, Dunod, 1958, 14 × 22, 200 p., illustr., Prix 1.200 frs.

Il existe de nombreux ouvrages de bactériologie médicale. De même la microbiologie générale appliquée à l'agriculture a été depuis longtemps exposée dans d'excellents traités. Mais les techniques d'études de la flore microbienne qui intéressent l'agriculture, et plus particulièrement les industries agricoles, ne sont exposées en langue française que sous formes fragmentaires dans des revues plus les diverses.

Ce sont ces techniques que l'on trouvera exposées dans ce manuel récemment publié chez Dunod qui comprend trois parties : la première traitant de techniques générales, la deuxième étudiant les grandes familles de microorga-

nismes, la troisième donnant la liste de milieux de culture, celle des différents réactifs et colorants d'usage courant.

MM. GIRARD et ROUGIEUX se réfèrent fréquemment à la systématique et se sont surtout attachés à l'étude de techniques simples et sûres permettant d'isoler et de caractériser les microorganismes. Les études pratiques sont précédées de rappels théoriques permettant de mieux comprendre ces exercices.

Leur ouvrage clair, ordonné et facile à assimiler, est particulièrement à conseiller aux étudiants des Ecoles nationales d'Agriculture et de l'Institut Agronomique, à ceux des Facultés, aux techniciens des industries agricoles et à toute personne désirant se familiariser avec la microbiologie.

631. 46

RUSSEL (Sir E. John). — **The World of the soil**. 237 p., 4 photos en couleur et 44 en noir et blanc. Collins, Londres, 1957.

L'auteur de « Soil Conditions and Plant growth » a voulu dans son dernier ouvrage paru faire œuvre de vulgarisation ; et son livre semble devoir intéresser le plus large public par ses courts développements sur « Le monde du sol » traités de manière attrayante, claire, mais sans simplifications abusives. Les chapitres les plus importants sont consacrés d'une part aux « habitants du sol », des bactéries aux algues, à leurs conditions de vie, à leur rôle agronomique, et d'autre part aux moyens dont dispose l'homme pour modifier à son avantage les facteurs de fertilité du sol. Il faut noter la qualité remarquable des nombreuses photos qui ne sont pas le moindre intérêt de ce livre.

J. D.

631. 84 (45)

Atti del convegno sulla concimazione azotata nell' Italia meridionale e nelle isole. Bari, 18, 19 settembre 1957, 406 p.

Les comptes rendus de ce congrès sur la fumure azotée dans l'Italie du Sud, comprennent, outre plusieurs rapports traitant des recherches et essais de fumure azotée effectués dans différentes régions italiennes, les rapports suivants :

V. CARRANTE : La fumure azotée du blé.

L. CAVAZZA et D. RICI : Résultats d'essais de trois ans sur la fumure azotée inorganique du blé en doses croissantes, en Apulie et Lucanie.

G. CONTI : Influence de l'azote sur quelques caractéristiques des blés durs.

A. DIONIGI : Nouveaux principes pour la fumure azotée des blés.

A. MONTARULI : Quatre années d'essais sur la fumure de l'avoine.

U. CAPONI : L'azote et la betterave à sucre dans la région Métrapontine et les régions voisines.

R. PORECELLI : Le problème des fourrages en région sèche, et ses rapports avec l'azote.

V. CARRANTE : La fumure azotée des agrumes, de l'olivier et des arbres fruitiers.

S. DEL GAUDIO : Quelques aspects de la fumure azotée de la vigne.

G. RUGGIERI : La fumure des azotée agrumes.

L. CAVAZZA : L'azote permet-il d'employer utilement la paille enfouie, comme source d'humus?

A. DE ROBERTIS : Aspects phytopathologiques de la fumure azotée.

S. RICCARDO : L'apport des microorganismes du sol dans l'alimentation azotée des plantes en milieu méridional.

M. L. C.

631. 4 (02)

DUCHAUFOUR (Ph.). — **Pédologie. Applications forestières et agricoles.** Ecole Nationale des Eaux et Forêts, Nancy, 310 p., 1956.

Cet ouvrage est venu combler un vide longtemps ressenti dans la littérature de langue française.

Il comprend deux parties. La première traite des notions essentielles de la Science du sol : propriétés physiques, chimiques et biologiques, nécessaires à la compréhension des processus de genèse et d'évolution des sols faisant l'objet de la deuxième partie. Les développements relatifs à chacune des propriétés envisagées fait déjà une large place aux conséquences, aux interactions de ces diverses propriétés sur d'autres, sur les processus d'évolution et sur les possibilités d'adaptation et de croissanée des plantes.

Un exposé détaillé des phénomènes pédogénétiques (lessivage, podzolisation, etc.) et de l'influence des divers facteurs naturels, prépare la description des différents types de sols actuellement reconnus (caractéristiques, conditions de formation, etc.). Cette description systématique est présentée comme un développement de la classification proposée récemment par l'auteur et G. AUBERT, basée sur le degré d'évolution traduit par les caractères morphologiques des profils.

Une illustration graphique abondante et de nombreux tableaux font bien ressortir les caractères distinctifs des différents types de sols. Par ailleurs, des schémas synthétiques mettent en évidence les relations entre types et les passages des uns aux autres en fonction de certains facteurs.

Chaque fois, une place importante est réservée à l'influence des propriétés, « qualités » et « défauts » de chaque type, ou tout au moins de chaque groupe de sols, sur la végétation, ainsi qu'à l'influence de la végétation et des interventions humaines sur les sols en agriculture et, notamment, en sylviculture.

En résumé, ce livre présente de façon claire et méthodique une synthèse des connaissances actuelles en pédologie classique de conception biologique, où la notion de climax, d'équilibre entre sol et végétation naturelle est dominante. Conçu avec la préoccupation constante de pouvoir tirer de l'étude des sols des enseignements pratiques indispensables à leur mise en valeur et à leur exploitation rationnelle, il sera d'une aide précieuse non seulement pour l'étudiant, à qui il est destiné en premier lieu, mais aussi pour tous ceux qui ont besoin d'avoir à portée de la main, un guide maniable, clair et complet sur une discipline aussi fondamentale pour la production végétale.

R. B.

551. 509

WEICKMANN (H.) et SMITH (W.). Ed. — **Artificial stimulation of rain.** (Le déclenchement artificiel de la pluie). New York, Pergamon Press, 1957, 427 p.

Cet ouvrage de 427 pages présente les communications faites et les discussions qui eurent lieu lors de la première conférence sur la physique des nuages et les particules de précipitations, du 7 au 10 septembre 1955 à l'Institut Océanographique de Woods Hole (Massachusetts). Cette conférence était organisée par l'American Geophysical Union et groupait plus de 60 chercheurs des États-Unis, du Japon, du Canada et du Mexique.

Ce colloque reflète les nombreux aspects de cette science en pleine expansion : « la physique des nuages ». Il révèle la diversité des études poursuivies.

Un premier chapitre traître de l'origine des aérosols, leur distribution dans l'atmosphère et leur mesure. Pages 13 à 131 (31 communications).

Un deuxième chapitre concere la condensation et la coalescence des aérosols et le diamètre des gouttelettes de nuage et de pluie. Pages 145 à 229 (13 communications).

Un troisième chapitre porte sur le rôle des noyaux glaçogènes dans la genèse de la pluie. Pages 233 à 288 (12 communications).

Le quatrième chapitre étudie plus spécialement la croissance d'un cristal de glace dans les conditions naturelles et au laboratoire. Pages 351 à 404 (9 communications).

Les cinquième et sixième chapitres ont trait aux phénomènes électriques et à la terminologie internationale (2 communications).

Ce symposium apporte des renseignements intéressants sur les travaux effectués en Amérique et sur les techniques expérimentales.

R. B.

581. 14. 02 : 578. 08

HUDSON (J. P.), Ed. — **Control of the plant environment. Proceedings of the University of Nottingham**, Fourth Easter School in agricultural Science, 1957. London. Butterworths Scientific Publications, XVI, 240 p., 1957.

Le contrôle des différents facteurs de l'environnement constitue un important instrument de recherche dans l'étude de la croissance et de la production des plantes. Il offre de remarquables possibilités en ce qui concerne tant les principes fondamentaux de la physiologie et de la génétique végétales que les applications à l'amélioration des plantes, à l'agriculture et à l'horticulture.

La quatrième « Easter school » organisée à l'Ecole d'Agriculture de l'Université de Nottingham du 15 au 17 avril 1957 et consacrée à cette question a réuni près de 200 chercheurs appartenant à des disciplines variées (physiciens, chimistes, biologistes, agronomes, horticulteurs, etc.).

Les communications présentées ont couvert les thèmes suivants :

— Rapports généraux entre la plante et son milieu, et particulièrement les importants facteurs physiques de ce dernier : lumière, température, vitesse en vent, conditions d'humidité du sol.

— Méthodes de contrôle des facteurs de l'environnement dans les travaux d'expérimentation, en insistant surtout sur les aspects techniques de la question et sur le degré de contrôle jugé nécessaire au stade actuel.

— Méthodes d'utilisation des environnements contrôlés dans l'étude de l'action des facteurs du milieu sur le comportement des plantes.

— Applications possibles d'un contrôle plus poussé de l'environnement dans la production agricole.

Si l'aspect agronomique a largement inspiré les conférenciers, il n'a cependant été expressément développé que dans une seule communication.

D. K.

Le Directeur Gérant : B. LACLAVIÈRE.

Imprimerie BUSSIÈRE à Saint-Amand (Cher), France. — 28-7-1958.

Dépôt légal : 3e trimestre 1958 *N° d'impression : 27*

INFLUENCE DES TYPES D'ARGILE DES SOLS ET DE LA PLUVIOSITÉ SUR LA NUTRITION POTASSIQUE DU BLÉ

PAR

P. J. J. FRANC de FERRIÈRE
Société commerciale
des Potasses d'Alsace, Mulhouse.

Thérèse CAMEZ et Georges MILLOT
Laboratoire de Géologie,
Strasbourg.

INTRODUCTION

Dans un précédent mémoire, nous avons étudié l'influence de divers types d'argile des sols et de la pluviosité sur la nutrition potassique de la *pomme de terre* dans neuf champs de démonstration de la Société commerciale des Potasses d'Alsace. Dans le présent mémoire, nous étudions la nutrition potassique du *blé* en fonction des mêmes facteurs dans sept des champs d'essais précédemment décrits. En effet, le blé n'a pu être cultivé dans les champs d'Ammerzoden et du Lion d'Angers que de façon trop irrégulière pour qu'il nous soit possible de faire entrer ces deux champs en ligne de compte. Nous nous bornerons donc à passer en revue les résultats obtenus dans les sept autres champs d'essais.

Le tableau suivant rappelle la composition minéralogique de leurs argiles.

Lieu de prélèvement	Montmorillonite	Mica	Altérés ou Interstratifiés	Chlorite	Kaolinite	Quartz
La Malmare	20 %	50 %	—	—	AF	m
Lieusaint	—	80 %	f	—	f	m
Ablis	—	60 %	f	AF	—	F
Beaucouzé	—	60 %	f	AF	f	F
Le Petit Bèle	—	AF	f	60 %	—	F
La Harpe	—	AF	—	60 %	f	*TF*
Levet	—	m	—	—	m	*TF*

Rappelons brièvement que chacun des champs de démonstration de la S. C. P. A. est subdivisé longitudinalement en 3 bandes :

Bande K_0, au milieu, ne recevant pas d'engrais potassiques ;

Bande K_1, à gauche, recevant des doses moyennes d'engrais potassiques ;

Bande K_2, à droite, recevant des doses renforcées d'engrais potassiques.

Ces champs sont d'autre part subdivisés tranversalement en une série de soles recevant successivement chaque année les principales cultures d'un assolement normal ; cela ramène chaque année la culture du blé dans une ou plusieurs des soles de chaque champ.

A partir de l'origine des essais, les champs ne reçoivent pas de fumier de ferme, afin d'éviter l'introduction d'ions K^+ qui nuiraient à l'apparition dans la bande K_0 des signes de carence potassique sur les diverses plantes cultivées.

Mais il en résulte souvent un effet secondaire de déficit en humus dans le sol dont nous aurons l'occasion de constater les effets sur les récoltes de blé.

L'eau météorique joue vis-à-vis des rendements en blé un rôle au moins aussi important que celui que nous lui avons vu jouer vis-à-vis des rendements en pomme de terre ; mais c'est un rôle inverse. Les fortes pluviosités hivernales ont en effet sur les rendements en blé une action dépressive signalée dès 1930 par J. SANSON (1).

Cela nous a amenés à établir des graphiques comportant :

En ordonnées : les *rendements annuels en blé* exprimés en qx/ha de grain obtenus dans les bandes K_0, K_1 et K_2, avec différentes fumures potassiques.

En abscisses : les *pluviosités cumulées* exprimées en mm pour les six mois *novembre-avril*, correspondant à la période de végétation du blé d'hiver en saison froide.

Les *millésimes* des années de récolte de blé sont portés en abscisse en face des pluviosités cumulées correspondantes.

Nous avons ajouté sur nos graphiques une *droite à* 45° figurant les *pluviosités croissantes* en mm des six mois novembre-avril, droite à laquelle il est possible de comparer les courbes de rendements en blé représentées en pointillé pour les récoltes K_0, en trait discontinu pour les récoltes K_1, en trait plein pour les récoltes K_2.

1° **Champ de la Malmare près du Mans** (Sarthe).

Ce champ comporte un sol de limon assez riche en argile micacée (50 p. 100), avec 20 p. 100 de Montmorillonite, à laquelle s'ajoute de la Kaolinite et du Quartz.

De 1948 à 1955, les récoltes de blé ont donné à la Malmare, dans les bandes K_0, K_1 et K_2 les rendements moyens suivants :

Bande K_0 : sans engrais potassique : 43,0 qx/ha de grain.

Bande K_1 : avec 75 à 50 kg/K_2O/ha : 44,7 qx/ha de grain.

Bande K_2 : avec 100 kg/K_2O/ha : 46,4 qx/ha de grain.

(1) Relation entre le caractère météorologique des saisons et les rendements du blé ONM. 1930 par J. Sanson.

Le blé donne donc à la Malmare des rendements en grain remarquablement élevés dans les 3 bandes K_0, K_1 et K_2.

En ce qui concerne l'action des engrais potassiques, l'augmentation moyenne des rendements en blé procurée par l'apport supplémentaire d'une seconde dose de potasse de K_1 à K_2 est égale à l'augmentation de rendement obtenue avec la fumure K_1 par comparaison avec la fumure

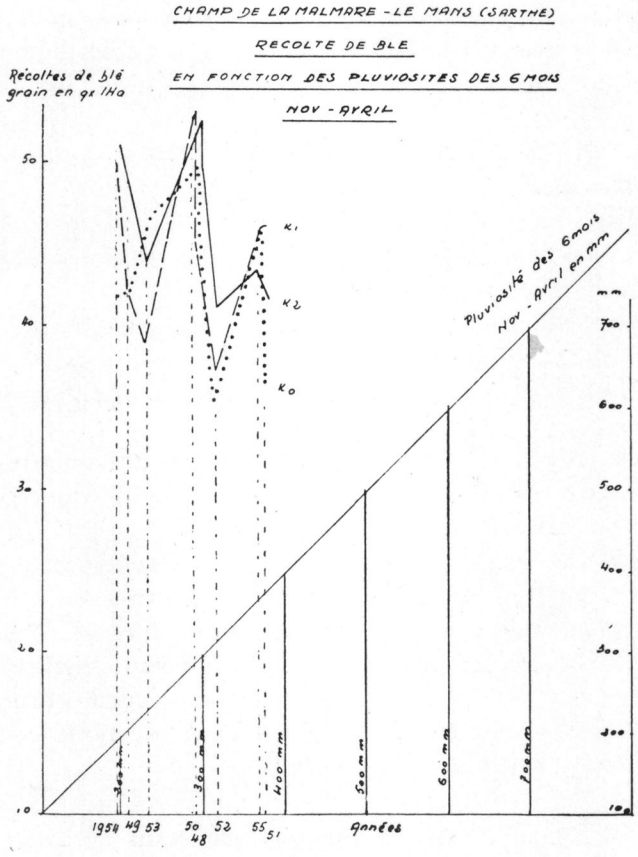


FIG. 1.

privée d'engrais potassique K_0. Cela est dû au fort pouvoir de rétention de la Montmorillonite vis-à-vis des ions K^+ de l'engrais, pouvoir qui ne laisse à la disposition du blé qu'une fraction de la potasse apportée.

Le graphique des rendements annuels en blé en fonction des pluviosités des 6 mois novembre-avril (fig. 1), ne montre qu'une action légèrement dépressive des fortes pluviosités sur les rendements en grain. Cette action de l'eau est réduite, comme si la Montmorillonite, par son pouvoir de rétention vis-à-vis de l'eau météorique, tamponnait l'action dépressive des fortes pluviosités sur le blé.

2° **Champ de Lieusaint** (Seine-et-Marne).

Ce champ porte un sol de limon à argile micacée faiblement ouverte nettement dominante (80 p. 100) accompagnée d'un peu de Kaolinite et de Quartz.

De 1932 à 1953, les récoltes de blé ont donné à Lieusaint dans les bandes K_0, K_1 et K_2 les rendements moyens en grain suivants :

Bande K_0 : sans engrais potassiques : 38,5 qx/ha de grain.

Bande K_1 : avec 100 à 80 kg/K_2O/ha : 43,0 qx/ha de grain.

Bande K_2 : avec 150 à 120 kg/K_2O/ha : 44,3 qx/ha de grain.

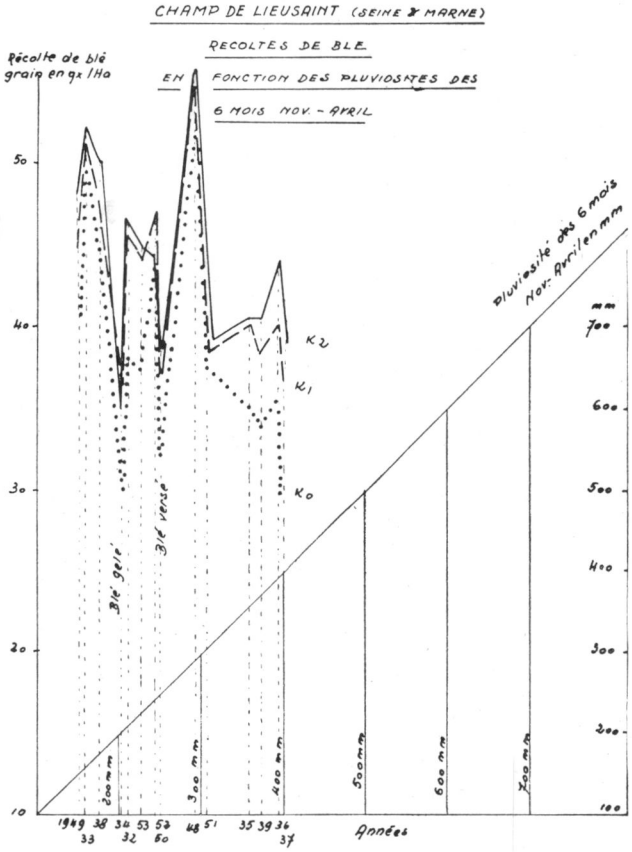


FIG. 2.

L'action des engrais potassiques à doses moyennes (K_1-K_0) est plus forte à Lieusaint qu'à la Malmare (4,5 qx/ha contre 1,7 q/ha) ce qui s'explique par un pouvoir tampon moins élevé de l'argile micacée existant seule à Lieusaint. L'action des fortes doses s'avère encore favorable.

Le graphique des rendements en blé à Lieusaint en fonction des plu-

viosités des 6 mois (novembre-avril) (fig. 2) montre un abaissement plus marqué qu'à la Malmare des rendements en grain en fonction des pluviosités d'hiver croissantes.

Noter les chutes accidentelles particulièrement fortes des rendements en blé observées à Lieusaint au cours des deux années : 1934 par suite du gel hivernal des blés, 1950 par suite de la verse consécutive à des orages printaniers.

3° **Champ d'Ablis-Long Orme** (Seine-et-Oise).

Ce champ comporte un sol de limon contenant une argile à 60 p. 100 de Mica, accompagné de Chlorite et de Quartz fin. Ce champ créé en 1937

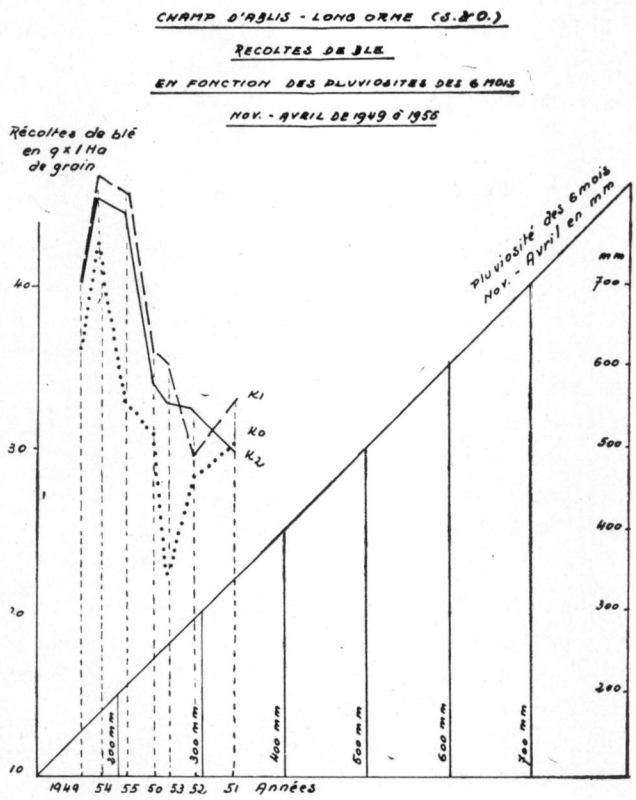


FIG. 3.

a donné dans les bandes K_0, K_1 et K_2 les rendements moyens en blé suivants :

Bande K_0 : sans engrais potassiques : 29,5 qx/ha de grain.

Bande K_1 : avec 100 à 80 kg/K_2O/ha : 34,5 qx/ha de grain.

Bande K_2 : avec 150 à 120 kg/K_2O/ha : 34,2 qx/ha de grain.

Les rendements en blé à Ablis-Long Orme sont donc nettement plus faibles que ceux de Lieusaint ; le même fait a déjà été observé pour les récoltes de pomme de terre.

A Ablis, les rendements en blé en K_2 sont égaux à ceux de K_1, alors qu'à Lieusaint ils étaient en moyenne supérieurs ; cela paraît attribuable à la teneur plus faible du sol d'Ablis en argile micacée bonne fixatrice d'ions K^+, donc à un besoin en potasse plus faible du sol, concurrençant avec moins de vigueur que celui de Lieusaint les besoins des radicelles du blé en ions K^+.

Enfin, le graphique des rendements en blé en fonction des pluviosités des 6 mois novembre-avril (fig. 3) montre une baisse plus marquée des rendements en blé avec les pluviosités croissantes ; cette sensibilité plus grande du blé à Ablis vis-à-vis de l'excès d'eau météorique est à rapprocher de la teneur plus élevée de l'argile d'Ablis en Chlorite et en Quartz fin, éléments à faible teneur en ions K^+ et à faible pouvoir de rétention vis-à-vis des ions K^+.

4° **Champ de Beaucouzé** (Maine-et-Loire).

Ce champ, établi sur schistes du Lion d'Angers assez durs, comporte un sol grossier contenant 39 p. 100 de débris de taille supérieure à 2 mm et seulement 12 p. 100 d'argile dans la terre fine. Cette argile contient 60 p. 100 d'argile micacée faiblement ouverte accompagnée de Chlorite et de Quartz fin.

Les rendements moyens en blé en K_0, K_1 et K_2 ont été les suivants :

Bande K_0 : sans engrais potassiques : 38,2 qx/ha de grain.
Bande K_1 : 87 à 58 kg/K_2O/ha : 41,9 qx/ha de grain.
Bande K_2 : 145 à 116 kg/K_2O/ha : 39,6 qx/ha de grain.

Les rendements en blé en K_0 sont voisins de ceux obtenus à Lieusaint, malgré une teneur plus faible en argile micacée. Cela paraît attribuable au sol schisteux plus grossier, plus perméable, plus sec, donc plus favorable au blé qui redoute l'excès d'eau dans le sol.

Le graphique des rendements en blé en fonction des pluviosités des 6 mois à Beaucouzé (fig. 4) montre cependant une chute des rendements très accentuée en fonction des pluviosités croissantes.

A Beaucouzé les fortes doses d'engrais potassiques utilisées en K_2 s'avèrent excessives pour le blé et ont provoqué une légère baisse des rendements en grain par rapport à ceux obtenus en K_1. Ce fait est dû en partie à la quantité moins importante d'argile micacée dans le sol de Beaucouzé qui présente par conséquent un besoin plus réduit en ions K^+.

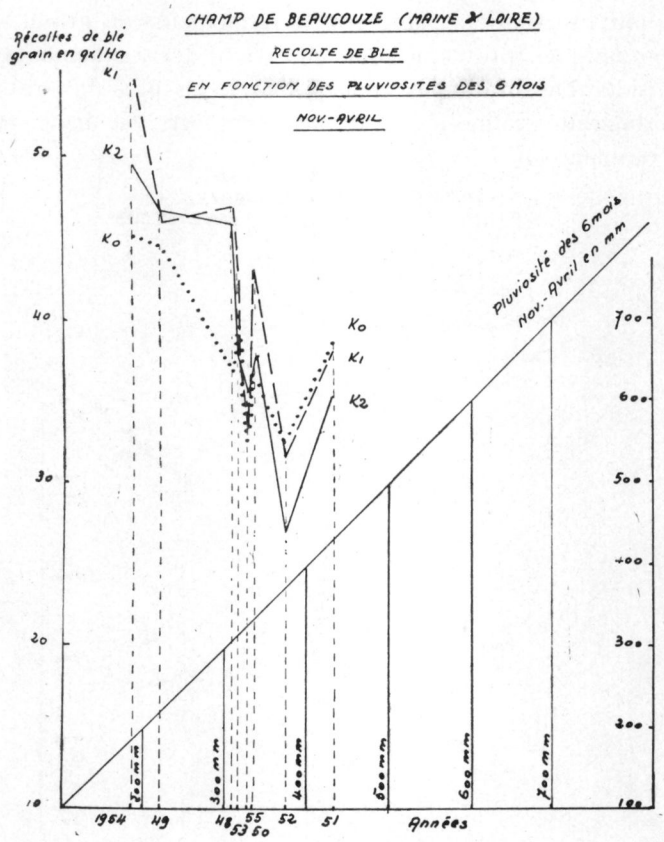


FIG. 4.

5° **Champ du Petit Bèle, Nantes** (Loire-Atlantique).

Le sol du champ du Petit Bèle contient environ 12,5 p. 100 d'argile comportant environ 60 p. 100 de Chlorite, accompagnée de Mica et de Quartz fin. Les rendements moyens en blé dans les 3 bandes K_0, K_1 et K_2, ont été les suivants :

Bande K_0 : sans engrais potassiques : 30,2 qx/ha de grain.

Bande K_1 : de 100 à 87 kg/K_2O/ha : 41,3 qx/ha de grain.

Bande K_2 : de 200 à 145 kg/K_2O/ha : 40,3 qx/ha de grain.

On a été amené au cours des essais sur blé au Petit Bèle à diminuer légèrement les doses d'engrais potassiques. L'action des doses moins élevées a été remarquablement efficace, faisant passer les rendements moyens de 30,2 à 41,3 qx/ha. Les doses renforcées ont amené au contraire une légère baisse des rendements en blé vis-à-vis des doses moyennes (40,2 contre 41,3 qx/ha).

Le graphique des récoltes de blé en fonction des pluviosités croissantes des 6 mois novembre-avril (fig. 5) montre en K_0 une action

des fortes pluviosités dépressive sur les rendements en grain. L'apport d'engrais potassiques provoque une élévation des rendements en blé surtout considérable durant les années sèches, les plus favorables à la production du grain, et une élévation encore importante des rendements en années pluvieuses.

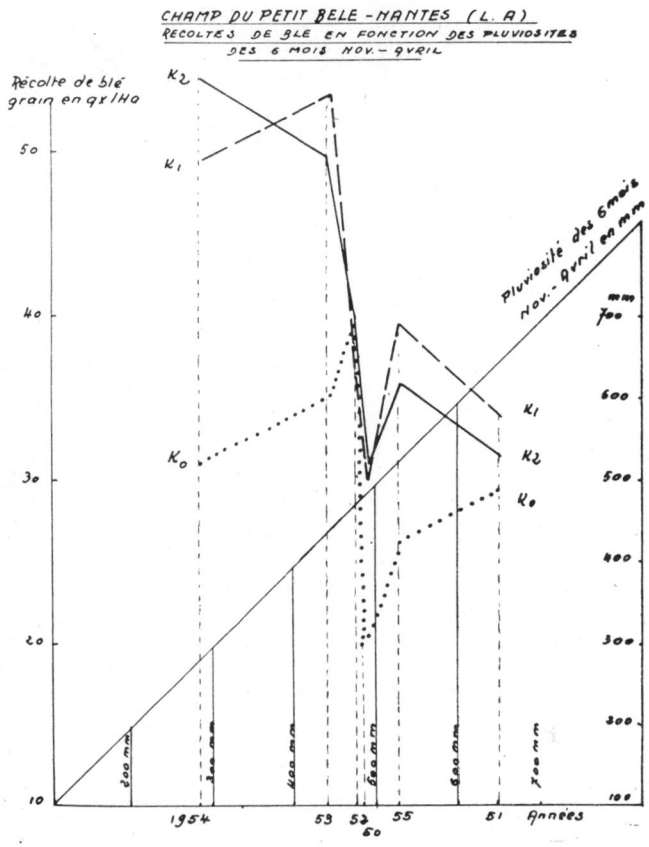


FIG. 5.

On peut donc dire, qu'au Petit Bèle, en sol à argile chloritique dominante, relativement pauvre en ions K^+ et fixant faiblement ceux-ci, les engrais potassiques à dose moyenne permettent au blé de profiter très largement des conditions météorologiques les plus favorables pour la production du grain qui se trouvent être celles des années faiblement pluvieuses.

6° **Champ de la Harpe, Rennes** (Ille-et-Vilaine).

Le champ de la Harpe a été installé en 1934 sur un sol de limon contenant environ 10,5 p. 100 d'argile très riche en pseudo-argile quartzeuse accompagnée de Chlorite (60 p. 100) et de Mica.

Durant les premières années d'essais potassiques à la Harpe, de 1934 à 1942, les rendements moyens en blé ont été les suivants :

Blé à la Harpe	K_0	K_1	K_2
Rendements 1934-1942	34 qx/ha	38,6 qx/ha	36,7 qx/ha

La forte augmentation des rendements en blé due à l'apport des doses moyennes d'engrais potassiques K_1 (4,6 qx/ha) est attribuable à la pauvreté en ions K^+ de ce sol à argile chlorito-quartzeuse dominante. La

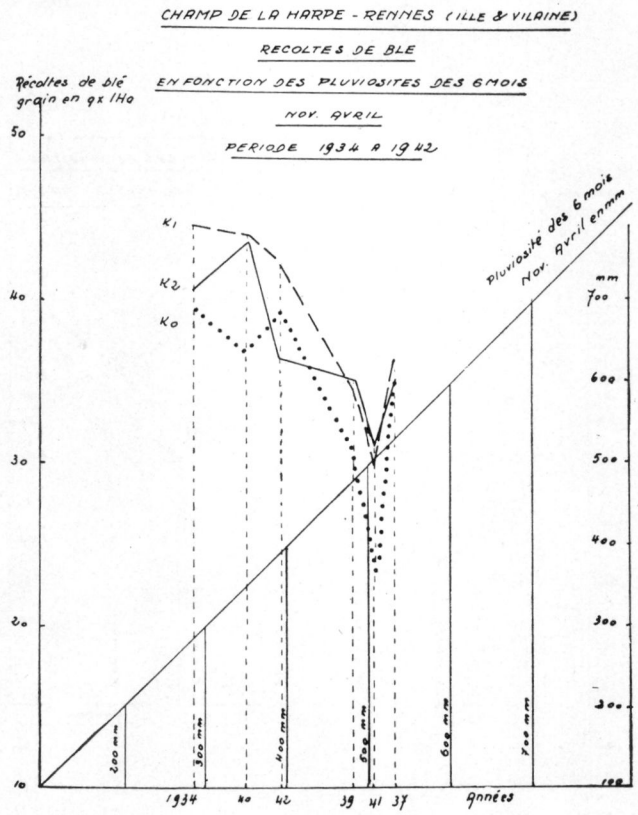


FIG. 6.

baisse des rendements en blé due à l'apport des fortes doses d'engrais potassiques par rapport aux doses moyennes est imputable au faible pouvoir de fixation de l'argile vis-à-vis des ions K^+ apportés par les engrais potassiques. Cela a amené les expérimentateurs à supprimer à la Harpe les apports de fortes doses à partir de 1943.

Cependant, à partir de 1943, on a observé à la Harpe une chute générale des rendements en blé aussi bien en K_1, avec engrais potassiques, qu'en K_0 sans engrais potassiques. Attribuant cette chute à la fois à l'insuffisance des fumures phospho-azotées pendant la guerre et à l'appauvris-

sement du sol en humus consécutif à la suppression des fumures au fumier de ferme, on a tenté, avec succès, d'y remédier, à partir de 1950 par l'apport de fumures organiques à base de tourteaux (3 000 kg par ha avant plante sarclée) et la culture d'engrais vert. On a vu alors remonter les rendements en blé de la façon suivante :

Blé à la Harpe en qx/ha	K_0	K_1	Différence $K_1 - K_2$	Périodes successives et variétés du blé utilisées
1943-1949.....	22,7	31,0	8,3	périodes des bas rendements
1950-1956.....	28,8	43,2	14,4	blé Vilmorin 27 } apport
	40,2	56,6	16,4	blés sélectionnés } d'humus

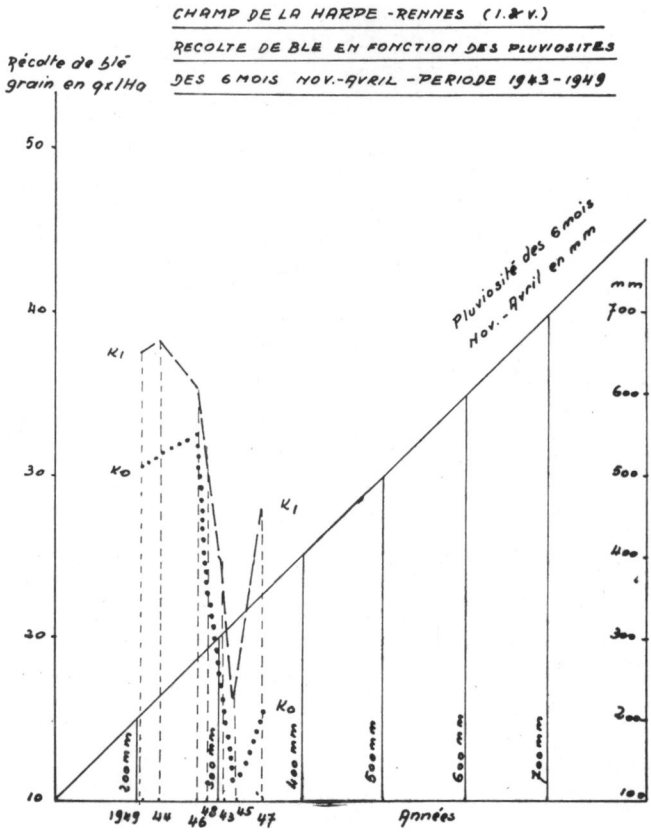


FIG. 7.

A partir de 1950, les ensemencements en blé à la Harpe ont été effectués moitié en blé Vilmorin 27, équivalant aux variétés précédemment utilisées, moitié en blés de sélection nouveaux à hauts rendements : Hâtif de Watrine, Yga, Etoile de Choisy, Capelle. Les seconds ont donné des rendements nettement supérieurs au Vilmorin 27.

Quatre graphiques des rendements en blé à la Harpe en fonction des pluviosités croissantes des 6 mois novembre-août ont été tracés pour les trois périodes :

FIG. 6. — *Période 1934-1942. Rendements en blé à la Harpe.*

Les pluviosités croissantes ont une action dépressive nette sur les rendements en blé ; l'action des doses moyennes d'engrais potassique est plus efficace que celle des doses fortes.

FIG. 7. — *Période 1943-1949. Rendements en blé à la Harpe.*

Les rendements en blé se montrent fortement déprimés par rapport à ceux de la période 1934-1942 et cela plus encore en K_0 qu'en K_1. Le

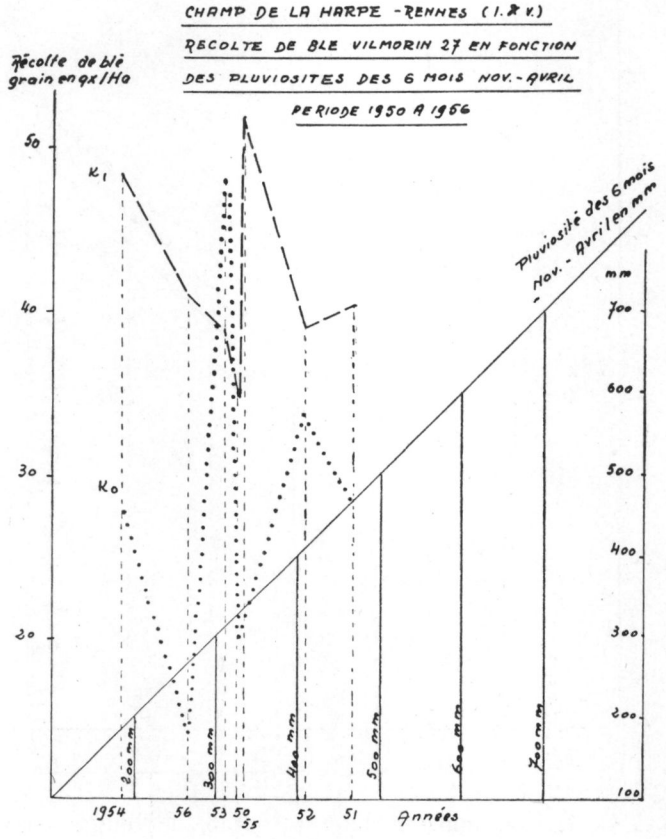


FIG. 8.

blé souffre doublement : de la carence potassique, qui s'accentue en K_0 et du manque général de fumures par rareté des engrais pendant la guerre. L'action dépressive des pluviosités croissantes se fait sentir avec une intensité accrue.

FIG. 8. — *Période 1950-1956. Blé Vilmorin 27 à la Harpe.*

Le redressement des fumures et l'enrichissement du sol en humus se traduisent par un relèvement général des rendements en blé, à la fois en K_9 et en K_1. Mais en K_0 le relèvement se trouve freiné par la carence potassique qui va en s'accentuant. Au contraire, en K_1 l'emploi des engrais potassiques permet à l'apport d'engrais azoté et d'humus de donner son plein effet sur les rendements en blé. Aussi la différence des

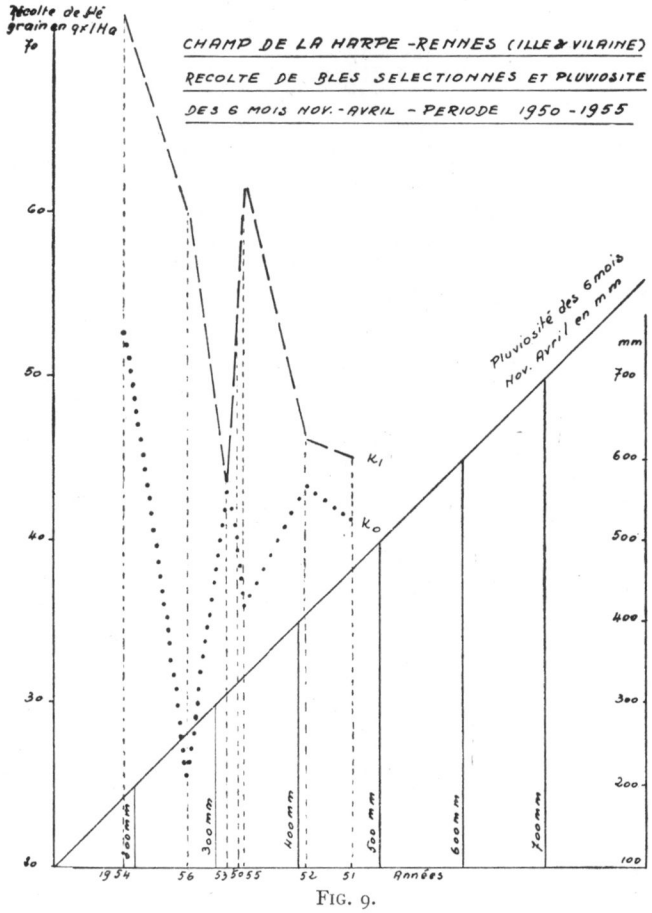


FIG. 9.

rendements K_1-K_0, qui marque l'action totale des engrais potassiques, passe-t-elle, de 8,3 qx/ha en 1943-1949 à 14,4 qx/ha en 1950-1956. L'action dépressive des fortes pluviosités disparaît grâce à l'apport d'humus. et d'engrais azoté.

FIG. 9. — *Période 1950-1955. Blés sélectionnés à la Harpe.*

Avec les blés de sélection à hauts rendements, les rendements moyens en blé, s'élèvent plus haut encore : jusqu'à 40,2 qx/ha en K_0 et jusqu'à

56,6 qx/ha en K_1. L'action favorable des engrais potassiques devient particulièrement énergique en année sèche au point que, au cours de l'année agricole 1953-1954 où la pluviosité des 6 mois novembre-avril n'a pas dépassé 187 mm, les rendements en blé Capelle, ont atteint en K_1 le chiffre record de 72,1 qx/ha de grain.

On voit que la pauvre argile chlorito-quartzeuse de La Harpe exige une double amélioration : l'apport d'engrais potassiques pour remédier à sa pauvreté en ions K^+, l'apport d'humus pour parer à son pouvoir de rétention insuffisant à l'égard de l'eau et des ions K^+, elle se montre alors capable de procurer des rendements en blé dignes des meilleures terres de limon des plateaux à bonne argile micacée du Bassin de Paris.

7° **Champ de Levet** (Cher).

Nous nous trouvons à Levet en présence d'un sol sableux assez grossier contenant environ 13,5 p. 100 d'argile très riche en pseudo-argile quartzeuse accompagnée d'un mélange mal défini de Mica et de Kaolinite.

Les rendements moyens en blé à Levet en K_0, K_1 et K_2 ont été les suivants :

Bande K_0 : absence d'engrais potassiques : 33,7 qx/ha d'engrais

Bande K_1 : avec 150 à 50 kg/K_2O/ha : 37,2 qx/ha d'engrais.

Bande K_2 : avec 300 à 80 kg/K_2O/ha : 35,8 qx/ha d'engrais.

A Levet, on a été amené à diminuer progressivement les fumures potassiques sur blé en K_1 et K_2. L'action favorable des engrais potassiques avec les doses moyennes K_1 a toujours dépassé celles obtenues en K_2 avec des doses plus fortes.

Il y a lieu de remarquer d'autre part qu'à Levet, les rendements en blé n'ont pas été régulièrement déficients comme nous l'avons observé pour les rendements en pomme de terre. Cela paraît attribuable au fait que les besoins du blé en potasse sont moins forts que ceux de la pomme de terre et que le blé, plante d'hiver et de printemps, ne souffre pas comme la pomme de terre, des sécheresses estivales redoutables dans ces sols.

Le graphique des rendements en blé à Levet en fonction des pluviosités des 6 mois novembre-avril (fig. 10) montre que si le blé a donné des rendements satisfaisants en années sèches ou moyennement humides, ces rendements ont eu tendance à s'effondrer gravement en années pluvieuses.

On peut admettre que cette extrême sensibilité du blé aux pluviosités exagérées à Levet est due à la mauvaise qualité de l'argile d'un sol à pseudo-argile quartzeuse prédominante qui pourrait être améliorée comme à la Harpe, par un apport suffisant d'humus. Déjà la récolte de blé 1955 à Levet a donné des rendements en blé en pointe très visible sur la courbe

générale des rendements en blé en fonction des pluviosités ; or, le blé a été semé à l'automne 1954 après enfouissement d'une récolte de pois fourrager qui avait fortement enrichi le sol en humus et en azote.

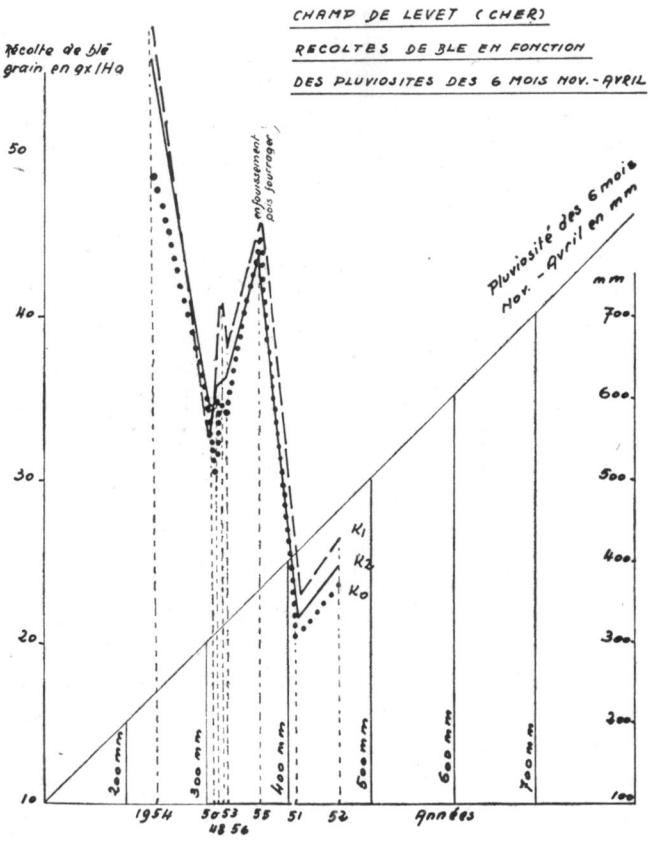


FIG. 10.

En résumé nous avons fait dans ces divers champs d'essais les constatations suivantes :

1° Action de la pluviosité sur les rendements en blé en fonction de la nature des argiles.

Les rendements annuels en blé sont nettement influencés par les pluviosités cumulées des six mois novembre-avril. Aux faibles pluviosités correspondent les plus hauts rendements en grain, aux fortes pluviosités les plus faibles rendements.

Mais l'intensité de cette action dépressive des pluviosités croissantes sur les rendements en blé varie avec la nature des argiles des sols.

L'action dépressive des pluviosités croissantes est faible en présence d'argile montmorillonitique ; elle est plus marquée en présence d'argile micacée dominante; elle s'accentue de plus en plus au fur et à mesure que croît la teneur de l'argile du sol en Chlorite, en Kaolinite et en Quartz. Cependant il est possible de remédier dans une certaine mesure à cette action dépressive des fortes pluviosités sur les rendements en blé en améliorant la teneur des sols en azote et en humus par l'apport d'engrais humiques, et la culture des engrais verts.

2° Action des engrais potassiques sur les rendements en blé en fonction de la nature des argiles.

En sols montmorillonitiques, rendements en blé élevés même en K_0, action positive des fortes fumures potassiques par rapport aux fumures moyennes.

En sols fortement micacés, l'action positive des fortes fumures potassiques sur les rendements en blé reste notable par rapport aux fumures moyennes.

Au fur et à mesure que croît la teneur en Chlorite, Kaolinite et Quartz on voit peu à peu diminuer l'action positive des fortes fumures potassiques sur les rendements en blé par rapport aux fumures moyennes jusqu'à devenir légèrement moins efficaces. L'action des fumures potassiques moyennes sur les rendements en blé s'accentue au contraire fortement en présence de ces argiles pauvres en ions K^+, dans la mesure où une teneur suffisante du sol en humus compense le pouvoir insuffisant de fixation de ces argiles vis-à-vis des ions K^+.

RÉSUMÉ

L'influence sur les rendements en blé des divers types d'argile des sols en fonction des pluviosités des 6 mois (novembre-avril) dans huit champs d'essais d'engrais potassiques :

1° En présence d'argile à dominance micacée et montmorillonitque.
2° En présence d'une argile micacée largement prédominante.
3° En sols à argile dominante encore micacée, mais plus riche en chlorite et en quartz.
4° En sol à argile chloritique dominante.
5° Sur sol riche en chlorite et en pseudo argile quartzeuse.
6° Sur sol à pseudo argile quartzeuse prédominante avec un peu de mica et de kaolinite,

conduise aux constatations suivantes :

1° L'action dépressive des pluviosités croissantes sur les rendements en blé varie avec la nature des argiles des sols. Cette action est faible en présence d'argile montmorillonitique, plus marquée en présence d'argile micacée domi-

nante et elle s'accentue de plus en plus au fur et à mesure que croît la teneur de l'argile du sol en chlorite, en kaolinite et en quartz. Une augmentation de la teneur des sols en azote et en humus contrebalance dans une certaine mesure cette action dépressive.

2° En sols montmorillonitiques, on obtient une action positive des fortes fumures potassiques par rapport aux fumures moyennes.

En sols fortement micacés, l'action positive des fortes fumures sur les rendements reste notable par rapport aux fumures moyennes. Lorsque la teneur en chlorite, kaolinite et quartz croît, l'action positive des fortes fumures potassiques diminue par rapport aux fumures moyennes jusqu'à devenir dépressives. L'action des fumures moyennes s'accentue au contraire en présence de ces argiles pauvres en ions K^+, dans la mesure où une teneur suffisante du sol en humus compense le pouvoir insuffisant de fixation de ces argiles vis-à-vis des ions K^+.

РЕЗЮМЕ

Влияние типов почвенной глины и количества осадков на калийное питание пшеницы.

П. Ж. Ж. ФРАНК-ДЕ-ФЕРРИЕР.

Изучение влияния различных типов почвенной глины на урожай пшеницы в зависимости от количества дождей шести месяцев (ноябрь-апрель) на 8 опытных полях с испытанием калийных удобрений.

1. при наличии глины с преобладанием слюды и монтмориллонита;
2. при наличии глины где явно преобладает слюда;
3. в почвах, где в глине преобладает слюда, но более богатой хлоритом и кварцем;
4. в почве, где преобладает хлоритная глина;
5. в почве, богатой хлоритом и ложной кварцевой глиной;
6. в почве, где доминирует ложная кварцевая глина, содержащей также немного слюды и каолина

приводит к следующим выводам :

1. Вредное действие увеличения дождливости на урожай пшеницы находится в зависимости от природы почвенных глин. Это действие слабо в случае монтмориллонитной глины, сильнее в случае наличия глины, где доминирует слюда, и оно увеличивается все более и более, когда возрастает в почвенной глине содержание хлорита, каолинита и кварца. Увеличение содержания в почве азота и гумуса уравновешивает в известной степени это вредное действие.

2. В монтмориллонитных почвах действие сильных доз калия имеет действие более благоприятное, чем доз средних.

В очень богатых слюдой почвах, положительное действие сильных доз остается значительным, по сравнению со средними. Когда содержание хлорита, каолинита и кварца увеличивается, благоприятное действие сильных калийных удобрений уменьшается, по сравнению с действием средних доз, вплоть до того, что оно становится вредным. Напротив, действие средних доз увеличивается на этих глинах, бедных ионами K^+, поскольку содержание гумуса уравновешивает недостаточную способность этих глин удерживать ионы K .

SUMMARY

The effect of clay type and rainfall on the potassium nutrition of wheat. (Second communication).

The effect on wheat yields of different types of clay in relation to rainfall conditions during six months (November-April) was investigated in eight potassium-fertilizing experimental fields :

1) In presence of predominantly micaceous and montmorillonitic clay,
2) In presence of predominantly micaceous clay,
3) Containing predominantly micaceous clay, but rich in chlorite and quartz,
4) Containing predominantly chloritic clay,
5) Rich in chlorite and quartzose pseudo-clay, and
6) Containing predominantly quartzose pseudo-clay with slight amounts of mica and kaolinite.

Results indicated that :

1) The depressing effect of increasing rainfall on wheat yields varies with the nature of the clay in the soil. The depressing effect is slight in presence of montmorillonitic clay, more marked in presence of predominantly micaceous clay, and progressively increases with increasing chlorite, kaolinite and quartz contents of the clay. An increase in the nitrogen and humus levels of the soil partially counteracts the depressing effect.

2) In montmorillonitic soils, heavy doses of potassium fertilizers are superior to medium ones. The positive effect of heavy fertilizing, as compared with medium rates, is also marked in strongly micaceous soils. The superiority of heavy rates of potassium fertilizers over medium dressings decreases with increasing levels of chlorite, kaolinite and quartz, to become ultimately depressive in action. The effect of medium dressings, on the other hand, increases in the presence of these clays poor in K^+ ions, inasmuch as adequate levels of soil organic matter compensate for the insufficient K^+ fixation by these clays.

ZUSAMMENFASSUNG

Einfluss der Tontypen der Böden und der Niederschlagsmenge auf die Kaliernährung des Weizens. (2 ouginalarbeit).

Die Untersuchung des Einflusses der verschiedenen Tontypen der Böden in Abhängigkeit zu den Niederschlägen während den 6 Monaten (November bis April) auf die Weizenerträge und zwar auf 8 Kalidüngungsversuchsfeldern :

1) bei vorherrschendem Vorhandensein glimmerartiger und montmorillonitischer Tone ;
2) bei vorherrschendem Vorhandensein glimmerartiger Tone ;
3) auf Böden mit noch vorherrschenden glimmerartigen Tone aber mit mehr Chlorit und Quartz ;
4) auf Böden mit vorherrschenden Chlorittone ;
5) auf Chlorit und Quartzpseudoton reichen Böden ;
6) auf Böden mit vorherrschendem Quartzpseudoton und ein wenig Glimmer sowie Kaolinit

erlauben folgende Feststellungen :

1) Die schädliche Wirkung steigenender Niederschlagsmengen auf die

Weizenerträge hängt von dem Tontyp des Bodens ab. Diese Wirkung ist beim Vorhandensein montmorillonitischer Tone gering, sie wird deutlicher bei Anwesenheit von glimmerartigen Tonen und sie nimmt zu bei steigendem Gehalt des Bodentons an Chlorit, Kaolinit und an Quartz. Eine Zunahme des Stickstoff- und Humusgehaltes vermindert diese schädliche Wirkung.

2) Auf Montmorillonitböden stellt man eine positive Wirkung der starken Kalidüngungen gegenüber mittleren Düngungen fest. Auf Glimmerböden, ist diese positive Wirkung der starken Kaligaben noch beträchtlich gegenübe, mittleren Gaben. Wenn der Chlorit-, Kaolinit- und Quartz-Gehalt steigtr wird diese positive Wirkung der starken Kaligaben geringer und sie kann negativ werden. Dagegen, bei dem Vorhandensein dieser kaliarmen Tone, wird die Wirkung der mittleren Kaligaben deutlicher, unter der Bedingung, dass ein hinreichender Humusgehalt des Bodens das ungenügende Sorptionsvermögen dieser Tone gegenüber K-Ionen ausgleicht.

INFLUENCE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE HUMIFIÉE SUR L'EFFICACITÉ DE L'AZOTE

PAR

Raymond CHAMINADE

Station centrale d'Agronomie, Versailles.

Les relations entre matière organique et fertilité des sols mettent en jeu des phénomènes divers : action sur les propriétés physiques et l'activité biologique des sols, intervention directe dans la nutrition de la plante par minéralisation de l'azote ou libération des éléments minéraux fixés.

En dehors de ces phénomènes, un certain nombre d'auteurs se sont attachés à l'étude de l'action spécifique sur la nutrition minérale, de substances organiques présentes dans la matière organique humifiée.

Les résultats de ces essais sont parfois contradictoires. L'effet humique peut être masqué par les conditions expérimentales.

W. FLAIG (11) a souligné l'importance des conditions de nutrition de la plante, de la nature et des doses de substances humiques expérimentées pour la mise en évidence de l'action de celles-ci.

D'autre part, les espèces végétales réagissent très différemment à l'humus (L. A. CHRISTEVA (8-9)).

H. BURGEVIN(1) a montré, par des expériences en vases de végétation, que des cultures de moutarde blanche ne donnaient aucune augmentation de rendement en présence d'une quantité d'humate d'ammoniaque, extrait de tourbe, correspondant à 100 kg par hectare.

G. BARBIER (2) a constaté que les humus vieillis renfermés dans tourbes et lignites à l'état naturel, se comportaient dans les sols comme une matière à peu près inerte, aussi bien au point de vue biologique qu'au point de vue colloïdal, et sont par suite inaptes à constituer dans le sol des réserves azotées nitrifiables comme à exercer une action structurale dans les terres argileuses.

Des essais de cultures sur solutions, réalisées par cet auteur, ont montré qu'un humate d'ammonium extrait de lignite semblait avoir exercé une légère action stimulante sur la végétation de la tomate à une concentration supérieure à celle qu'il serait possible de réaliser dans le sol. Les doses d'humus utilisées dans ces essais s'échelonnaient de 7 à 56 mg par

litre, dépassant largement l'optimum de concentration observé dans des essais réalisés par d'autres auteurs.

Les substances humiques agissent à très faible dose sur la vitesse de croissance de l'*Aspergillus Niger* (3). D'autre part, dans des essais de culture en solutions nutritives et sur sols [(4) à (7)], nous avons établi que l'humus à des concentrations de 2,5 mg/litre, augmentait le rendement maximum en permettant à la plante de s'alimenter aux dépens de solutions de concentration élevée qui, en l'absence d'humus, donnaient lieu à des phénomènes d'intoxication.

D'importants travaux ont été publiés par L. A. KHRISTEVA (8-9) sur le rôle de l'acide humique et de diverses substances organiques dans la nutrition des plantes et sur l'emploi d'engrais humiques. Cet auteur a montré que l'acide humique, sous forme d'humates solubles, avait une action stimulante à des concentrations de $1/10^5$ à $1/10^6$.

Le mécanisme de cette action serait lié à une activation des phénomènes d'oxydation se traduisant par un métabolisme accru. L'absorption des éléments minéraux, les processus de synthèse, la formation du protoplasme et des racines seraient ainsi stimulés.

Les espèces végétales réagissent très différemment à l'humus. La pomme de terre, les tomates, les betteraves sucrières réagissent fortement.

Le blé, l'avoine, l'orge, le maïs, le riz, le sarrazin, la luzerne réagissent bien ; le pois, le haricot, les lentilles, le cotonnier, le tournesol, le ricin réagissent peu ou pas du tout.

L'augmentation de rendement peut atteindre 50 p. 100 par rapport à celui obtenu avec une fumure minérale en l'absence d'humus.

Voici l'un des nombreux résultats obtenus par L. A. CHRISTEVA sur une culture de tomates en vases de végétation.

Cet essai a été réalisé avec un produit organique dénommé « Humkophos » renfermant 26,6 p. 100 de substances organiques dont 11,25 p.100 d'acide humique et 76,9 p. 100 de cendres dont 12,6 p. 100 de P_2O_5, 14,6 p. 100 de K_2O, 3 p. 100 de CaO, 3 p. 100 de MgO, 12,7 p. 100 de $Fe_2O_3 + Al_2O_3$ et 2,5 p. 100 de SiO_2. La teneur en N du produit était de 0,4 p. 100.

La fumure NPK apportait des quantités de P_2O_5 et K_2O identiques à celles de l'Humkophos.

Rendements en tomates (moyenne de 5 années)
(Indices de comparaison)

Sans engrais	100
NPK	229
Humkophos + N	343

Le même essai réalisé sur Pois donnait un rendement sensiblement identique avec la fumure NPK et avec l'Humkophos.

W. FLAIG et ses collaborateurs (10-11) ont consacré de nombreuses

publications à l'étude des humus naturels et de composés organiques synthétiques renfermant des groupements présents dans les humus naturels.

Ils ont montré notamment que des substances organiques de synthèse, dont la composition était connue et reproductible, appartenant principalement au groupe des Quinones, avaient une action stimulante sur la croissance des plantes.

Cette action stimulante est liée à une activation de la respiration de la plante. Suivant la nature et la concentration des substances, les effets sont positifs ou négatifs. La concentration de 10^{-6} g/cc est généralement voisine de l'optimum.

Examinant l'influence d'acides humiques isolés de « terre noire » sur la croissance initiale du seigle, E. SAALBACH (12) a établi que les acides humiques provoquaient une stimulation nette de l'activité de l'aldolase et de la phosphatase dans les tiges.

D'après cet auteur, l'influence sur les réactions enzymatiques n'est pas la seule cause de l'augmentation de la production de matière sèche par la plante.

En fait, il est certain que l'action de stimulation des humus naturels ou des composés synthétiques expérimentés par W. FLAIG, met en jeu plusieurs mécanismes, d'ailleurs non indépendants. Outre la stimulation des réactions enzymatiques signalée plus haut, l'expérience montre que les acides humiques ou les humates agissent considérablement sur le développement du système radiculaire des plantes.

Ce fait déjà signalé par B. NIKLEWSKI (13) a été confirmé par d'autres expérimentateurs (W. FLAIG (10-11), L. CHRISTEVA (8-9) ; M. KONONOWA (14-15).

Voici, à cet égard, l'un des résultats donné par L. A. CHRISTEVA :

Longueur comparée des racines principales de plantules de 7 jours de Blé de printemps.

Eau	100
Humate de potassium ..... 0,0006 %	240
Humate de sodium ..... 0,0006 %	382

Le nombre de racines secondaires est considérablement accru en présence d'humus. Cet effet rhizogène se manifeste inégalement chez les différentes espèces végétales. Il est peu marqué chez les légumineuses et nul chez les plantes oléagineuses.

Enfin, dans le mécanisme de l'action de l'humus sur la physiologie des plantes, intervient une accélération de l'adsorption d'éléments minéraux sur les colloïdes radiculaires. Ce fait a été établi par R. BLANCHET (16).

La vitesse d'absorption des éléments N, P, S, K, par la plante se trouve ainsi accrue. L'optimum de concentration en humus est de l'ordre de 2 mg/litre pour le potassium et légèrement inférieur pour le phosphore

Dans le présent travail, nous avons étudié le rôle de l'humus sur la

nutrition azotée des végétaux. Les expériences ont été conduites de telle sorte que l'alimentation des plantes en éléments autres que N soit largement assurée afin que l'Azote soit, parmi les facteurs de nutrition, la seule variable.

Deux catégories d'essais ont été réalisés, d'une part en cultures sur sable avec solutions nutritives et d'autre part sur sol.

I. — CULTURES EN SOLUTIONS NUTRITIVES

Ces cultures sont réalisées dans des pots de polyéthylène de 10 × 10 × 13 cm . Les pots, percés à la partie inférieure sont remplis de quartz broyé (dimension 16-24) jusqu'à 1 cm du bord supérieur.

La capacité en eau est de 350 cc par pot. A la surface du sable humide on répartit soigneusement 1,2 de graines de Ray-grass. Les essais ont porté sur la variété « Trianon ». Les graines sont recouvertes d'une mince couche de sable fin (24-30) que l'on humidifie. Pendant la période de germination les pots sont recouverts d'une plaque de verre et maintenus à une température voisine de 20°.

Dans ces conditions, la germination est très régulière. Lorsqu'elle est complète, soit environ 6 jours après le semis, on commence l'arrosage avec les solutions nutritives. Celui-ci est effectué journellement avec un volume de 350 cc de solution correspondant à la capacité en eau des pots. La solution nutritive est ainsi renouvelée chaque jour.

Les coupes de Ray-grass ont lieu toutes les trois semaines. Les tiges sont coupées au niveau du bord supérieur du pot. La récolte est séchée à 95° et pesée.

Dans l'expérience relatée ici, huit coupes successives ont été faites.

Composition des solutions.

Cinq solutions ont été utilisées. Leur teneur en tous les éléments, sauf l'azote était constante. Ce dernier variait de 17 à 137 mg par litre.

Voici en mg par litre la composition des solutions :

$SO_4 K_2$	185 mg/litre
$(PO_4)_2 H_4 Ca, H_2O$	27 mg/litre
$(NO_3)_2 Ca$ anh	105 mg/litre
$SO_4 Mg, 7 H_2O$	37,5 mg/litre

Oligoéléments :

Perchlorure de fer à 45°B :

3 cc par litre.	1 cc de solution diluée par litre de solution nutritive.
—	—
$S O_4 Mn$	0,75 mg/l
$BO_4 H_3$	0,105 mg/l
$SO_4 Cu$	0,075 mg/l
$SO_4 Zn$	0,075 mg/l
Molybdate d'ammonium	0,050 mg/l

La variation de la concentration en azote était obtenue par addition de quantités croissantes de nitrate d'ammonium dans les proportions suivantes :

Numéros	
1 — 2.....	0
3 — 4.....	57 mg/litre
5 — 6.....	114
7 — 8.....	223
9 — 10.....	342

En résumé, la composition des solutions en éléments majeurs était la suivante :

Composition en mg/litre

	$N(NO_3)$	$N(NH_4)$	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	S
1 — 2	17	0	15	100	40	6	38,8
3 — 4	27	10	15	100	40	6	38,8
5 — 6	37	20	15	100	40	6	38,8
7 — 8	57	40	15	100	40	6	38,8
9 — 10	77	60	15	100	40	6	38,8

De nombreux essais préliminaires ont été réalisés afin de fixer les concentrations des éléments autres que l'azote, ainsi que le volume des solutions nécessaire, pour que la croissance de la plante soit, en ce qui concerne les facteurs de nutrition, exclusivement sous la dépendance de son alimentation azotée.

Toutes les solutions, de numéro pair, recevaient en outre 2,5 mg/l d'humate de sodium extrait d'un terreau par la technique précédemment décrite (3).

L'humate en question testé par l'*Aspergillus Niger* s'est montré actif à la dose de 0,1 γ/cc à la probabilité de 0,01.

Le semis de Ray-grass a été effectué le 27 mars et la 1re récolte le 24 avril. L'expérience a été poursuivie jusqu'au 5 octobre.

Résultats obtenus.

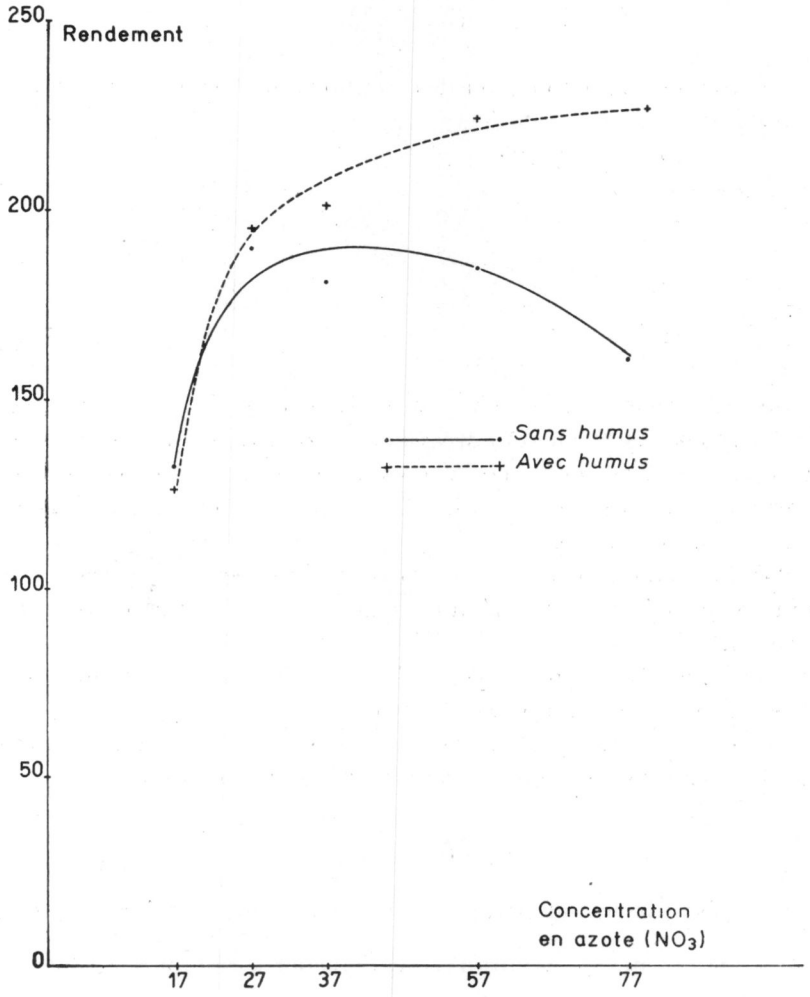
1° Rendements en fonction de la concentration du milieu en azote.

Ces rendements sont exprimés dans les courbes ci-après (1) (courbes 1 à 4).

Pour la 1re récolte, les rendements sont régulièrement croissants avec la concentration du milieu et les courbes obtenues en présence d'humus ou sans humus sont confondues. Il s'agit ici de plantes très jeunes, pour lesquelles le système radiculaire n'a pas encore atteint son développement maximum.

(1) Dans ces courbes, les abscisses représentent la concentration du milieu en azote nitrique. Il est vraisemblable que, dans les conditions de l'expérience, c'était surtout cette forme d'azote qui intervenait dans la nutrition azotée de la plante. De toutes façons l'interprétation des résultats n'est aucunement modifiée par ce mode de représentation.

A la 2e récolte, l'augmentation de rendement en fonction de la concentration du milieu en azote continue à se manifester, mais la courbe en présence d'humus est décalée vers des rendements plus élevés par rapport à celle obtenue dans les échantillons sans humus.



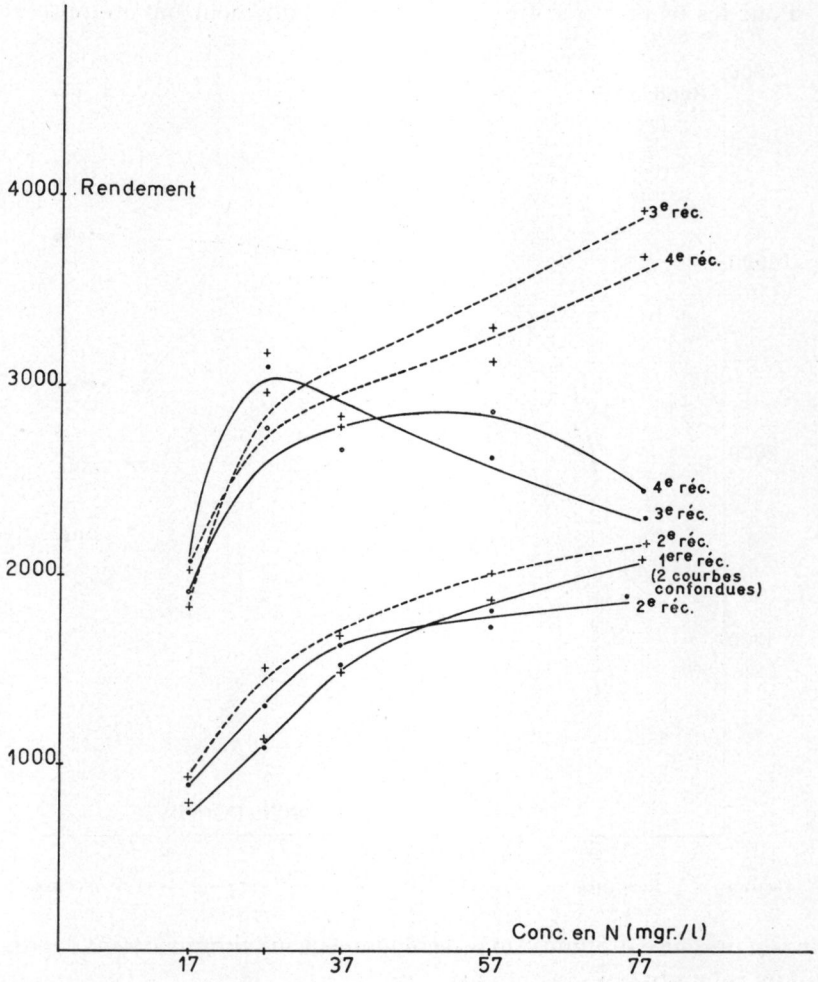
Courbes 1. — Rendement en fonction de la concentration en azote (Somme des huit récoltes).

A partir de la 3e récolte, on observe une divergence considérable des deux courbes.

Dans les vases de végétation sans humus le rendement croît jusqu'à une concentration de 27 mg/litre d'azote nitrique. Il décroît ensuite fortement ; les concentrations dépassant cette dose provoquent des phénomènes de toxicité.

Au contraire, en présence d'humus, le rendement continue à croître jusqu'à la concentration maximum en azote nitrique.

Les mêmes faits se confirment dans les cinq récoltes suivantes avec, toutefois, des différences entre récoltes successives liées aux variations



Courbes 2. — Rendement en fonction de la concentration en azote (1er à 4e récolte).

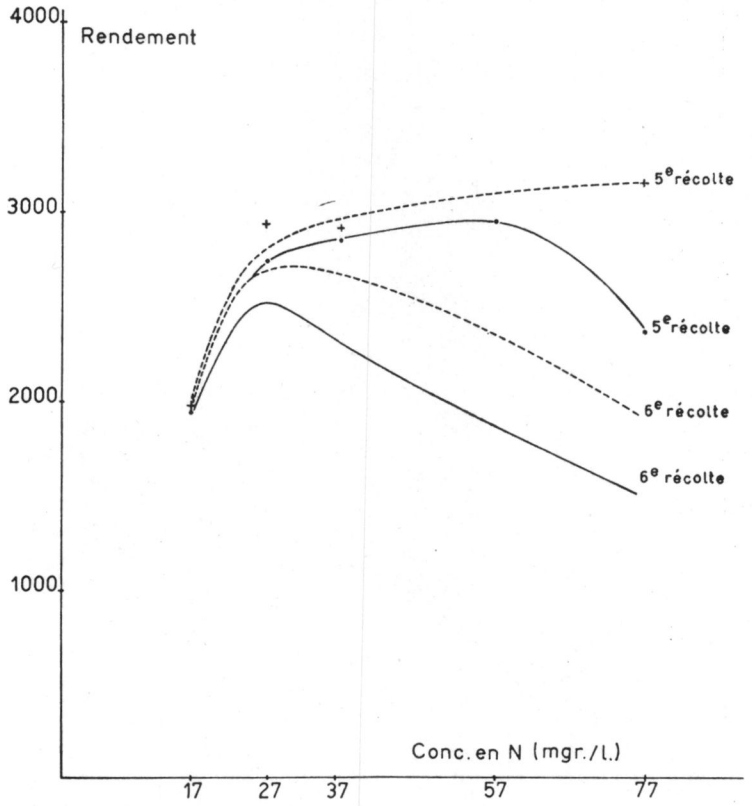
des conditions climatiques pendant les périodes correspondantes. Il est bien évident que l'utilisation des éléments minéraux du milieu est liée à la photosynthèse, elle-même sous la dépendance des conditions climatiques.

Dans tous les cas, à partir de la 2e récolte des phénomènes d'intoxication avec chute de rendement ont été observés dans les échantillons sans humus ; mais la concentration optimum a varié d'une période à l'autre.

C'est ainsi qu'à la 4e, 5e et 8e récolte le rendement a augmenté dans les témoins sans humus jusqu'à une concentration de 57 mg/litre, alors que l'optimum n'était que de 27 mg pour la 3e, la 6e et la 8e récolte.

En présence d'humus les courbes sont, dans tous les cas décalées vers des rendements supérieurs par rapport aux courbes obtenues sans humus.

Pour les 6e et 7e récoltes des chutes de rendement ont été observées,



Courbes 3. — Rendement en fonction de la concentration en azote (5e et 6e récolte).

même en présence d'humus ; mais le rendement maximum atteint dépassait toujours celui obtenu sans humus.

On peut donc tirer une première conclusion d'après laquelle, la présence d'humus dans le milieu, à des concentrations de 2,5 mg/litre a permis de prolonger vers les fortes concentrations les doses d'azote utilisables par la plante et d'accroître le rendement maximum.

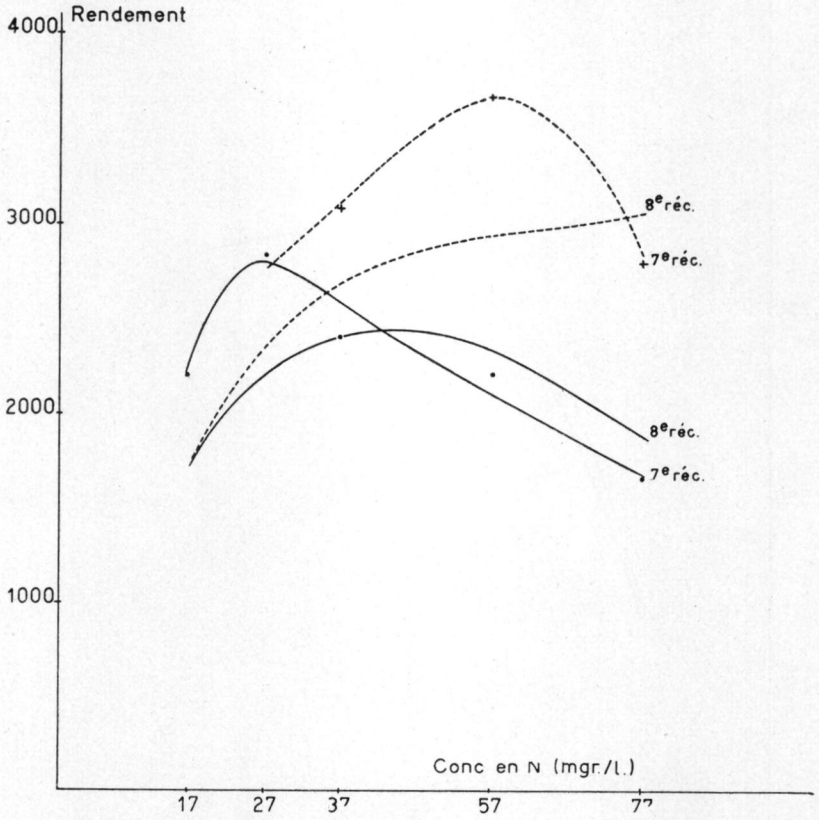
2° Absorption et utilisation de l'azote par les plantes.

L'azote total, avec réduction des nitrates, a été dosé dans toutes les récoltes et deux séries de courbes ont été établies :

a) La quantité totale d'azote exporté en fonction de la concentration du milieu.

b) Le rendement obtenu en fonction de la quantité totale d'azote exporté.

Les premières courbes reflètent l'absorption d'azote par la plante et



Courbes 4. — Rendement en fonction de la concentration en azote (7e et 8e récolte).

les secondes l'utilisation de cet azote absorbé par la formation de matière sèche.

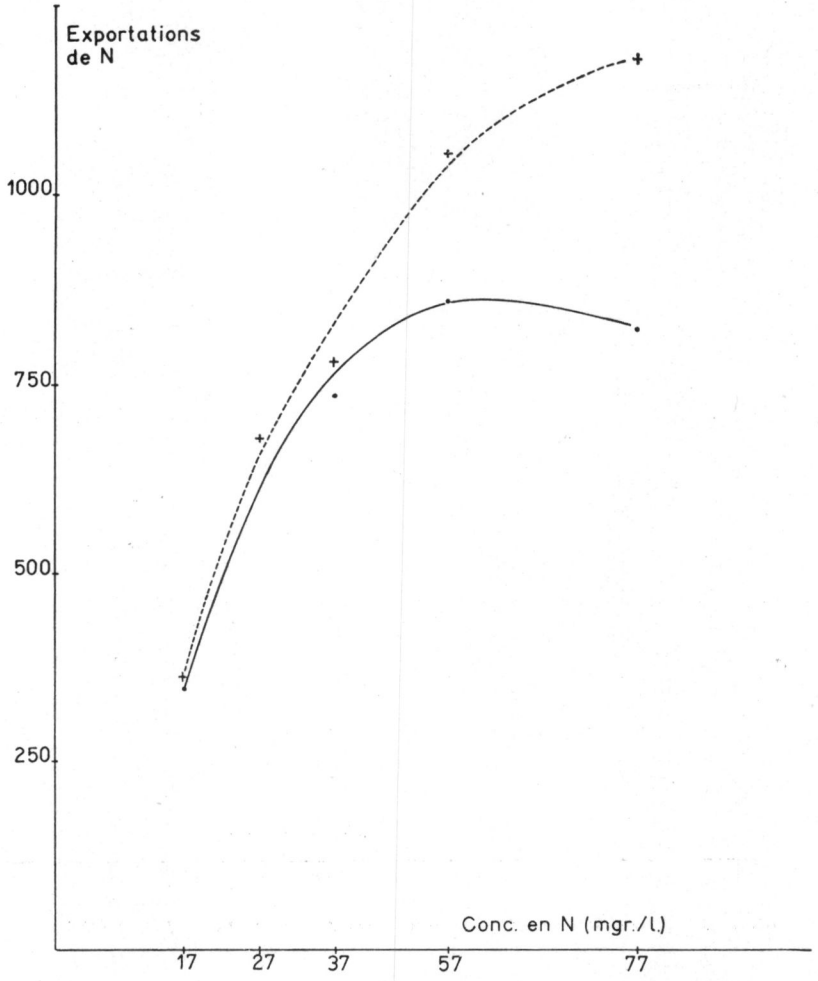
L'absorption et l'utilisation de l'azote sont liées : une mauvaise utilisation se traduit nécessairement par un freinage de l'absorption de même qu'une meilleure utilisation stimule l'absorption. Néanmoins ces courbes permettent dans une certaine mesure de dissocier les deux phénomènes.

a) Exportations d'azote en fonction de la concentration du milieu (courbes 5 à 11).

Pour la 1re récolte les deux courbes, avec et sans humus sont con-

fondues. La quantité d'azote exportée par la plante croît régulièrement avec la concentration du milieu.

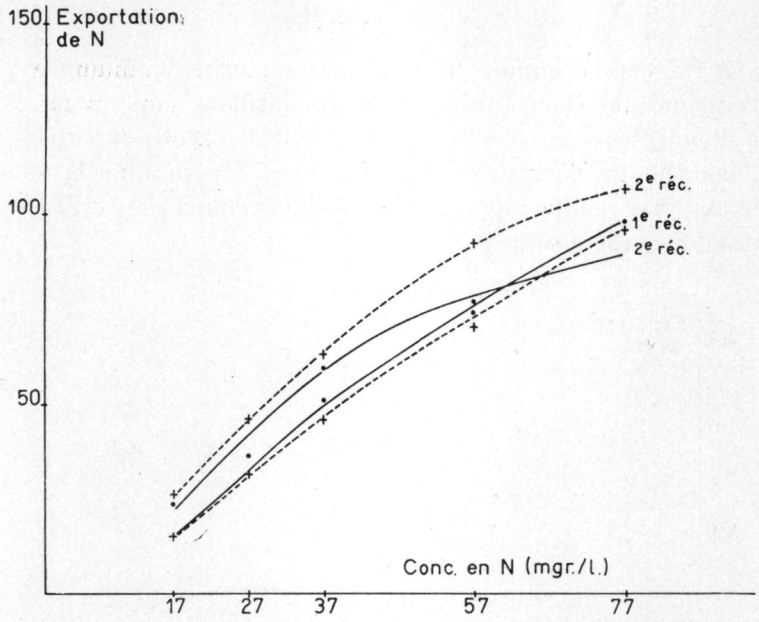
A la seconde récolte les deux courbes sont décalées. En présence d'humus, dans un milieu de concentration donnée la plante a exporté



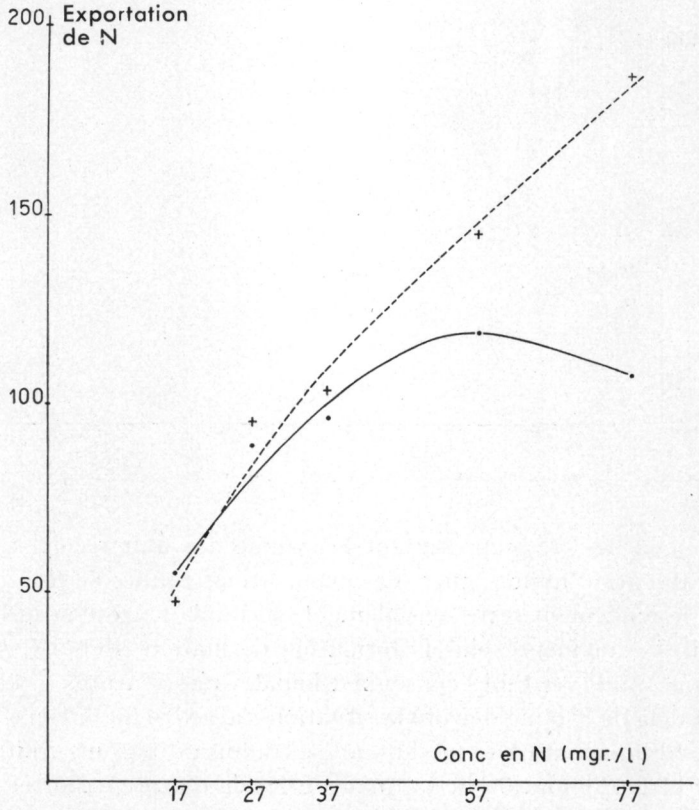
Courbes 5. — Exportations d'azote en fonction de la concentration du milieu (Somme des huit récoltes).

plus d'azote qu'en l'absence d'humus. A la 3e récolte, la quantité d'azote exportée en l'absence d'humus croît jusqu'à une concentration de 57 mg par litre ; elle décroît ensuite pour une concentraion de 77 mg. En présence d'humus, par contre, l'exportation continue à croître pour les fortes concentrations.

Mêmes observations pour les 4e et 5e récoltes. Pour les 6e et 7e récoltes, une chute de l'exportation d'azote aux fortes concentrations s'observe



Courbes 6. — Exportations d'azote en fonction de la concentration du milieu (1re et 2e récolte).

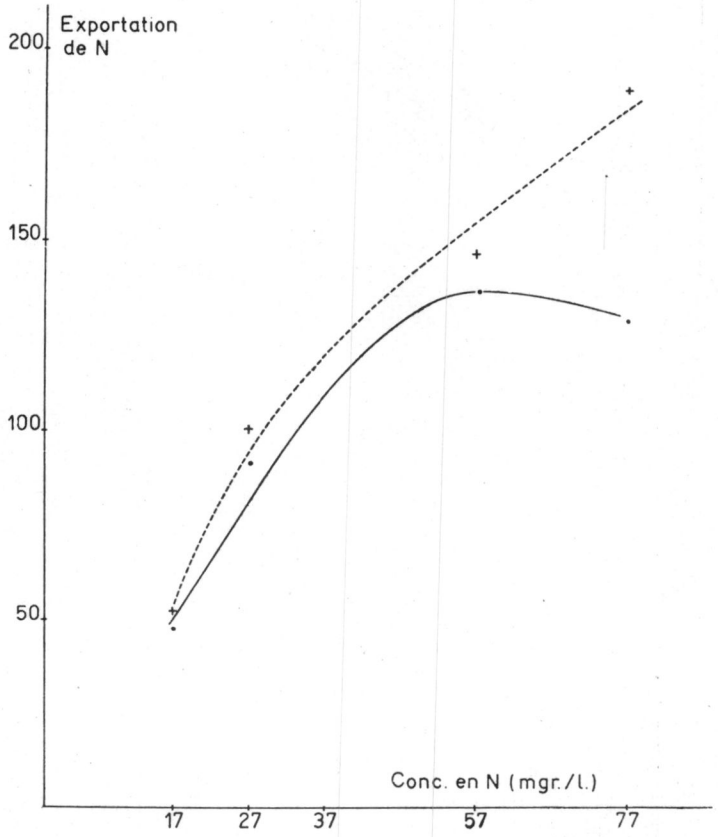


Courbes 7. — Exportations d'azote en fonction de la concentration du milieu (3e récolte).

même en présence d'humus. Toutefois, la quantité maximum exportée reste toujours plus élevée que dans les échantillons sans humus.

b) Rendements en fonction des quantités d'azote exportées.

L'examen des courbes de rendement en fonction de la quantité d'azote exportée rend compte de la façon dont celui-ci a été utilisé pour la formation de matière sèche.



Courbes 8. — Exportations d'azote en fonction de la concentration du milieu (4e récolte).

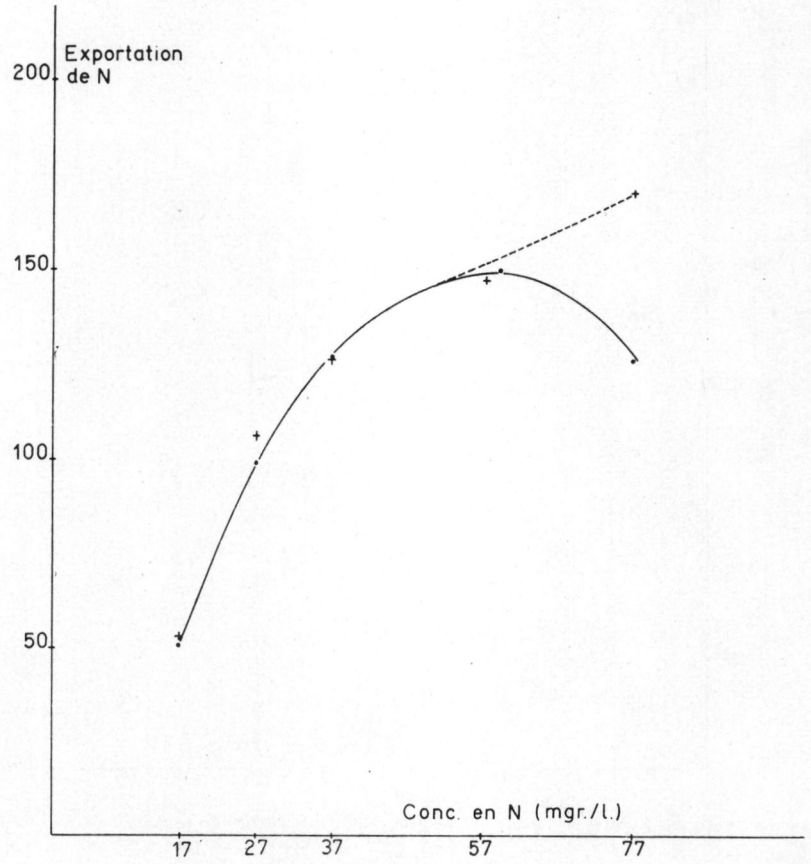
Les courbes (12) représentent la somme des huit récoltes. On voit u'en l'absence d'humus, entre des exportations totales de 650 à 850 mg d'azote le rendement reste sensiblement constant. L'azote adsorbé, entre ces limites n'augmente plus la formation de matière sèche. Il y a dans cette zone, une véritable consommation de luxe d'azote.

Au-delà de 850 mg d'azote la situation s'aggrave du fait que des phénomènes d'intoxication se produisent, se traduisant par une chute de rendement et la diminution de la quantité totale d'azote exportée.

En présence d'humus, les choses se présentent différemment. Sur

l'ensemble des huit récoltes, le rendement augmente régulièrement avec la quantité totale d'azote exportée qui atteint 1 200 mg.

L'examen de chacune des récoltes complète les observations précédentes (courbes 13 à 18). Les courbes sont confondues pour la 1re récolte traduisant une utilisation identique de l'azote dans les deux cas.



Courbes 9. — Exportations d'azote en fonction de la concentration du milieu (5e récolte).

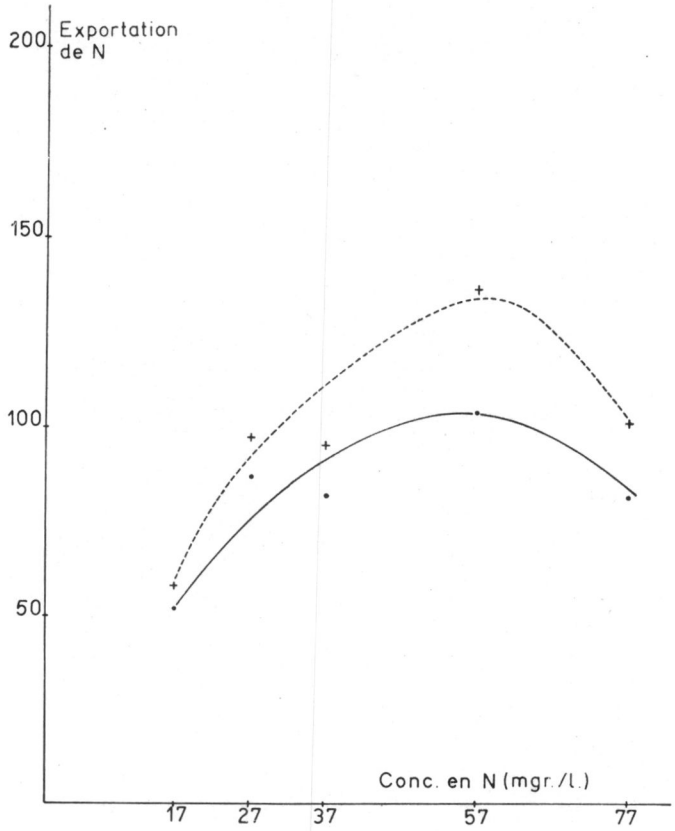
A la deuxième récolte, les courbes divergent légèrement surtout pour les fortes exportations.

A la troisième récolte, les courbes sensiblement confondues jusqu'à une absorption totale de 90 mg d'azote divergent ensuite.

Dans les témoins sans humus, l'absorption totale d'azote passe de 90 à 115 mg, tandis que le rendement décroît ce qui montre, dans cette série une très mauvaise utilisation de l'azote. Au-delà, la chute de rendement s'accélère et la quantité d'azote absorbée diminue.

En présence d'humus, rendement et absorption d'azote continuent à croître de pair.

Les observations sont identiques pour les 4e et 5e récoltes. A la 6e et 7e récolte une chute dans l'utilisation de l'azote s'observe même en



Courbes 10. — Exportations d'azote en fonction de la concentration du milieu (6e récolte).

présence d'humus. Toutefois, dans tous les cas l'utilisation maximum de l'azote reste très supérieure à celle du témoin.

3° **Formes de l'azote dans les récoltes.**

Trois formes d'azote ont été ici distinguées :

L'azote nitrique, l'azote organique soluble et l'azote organique insoluble.

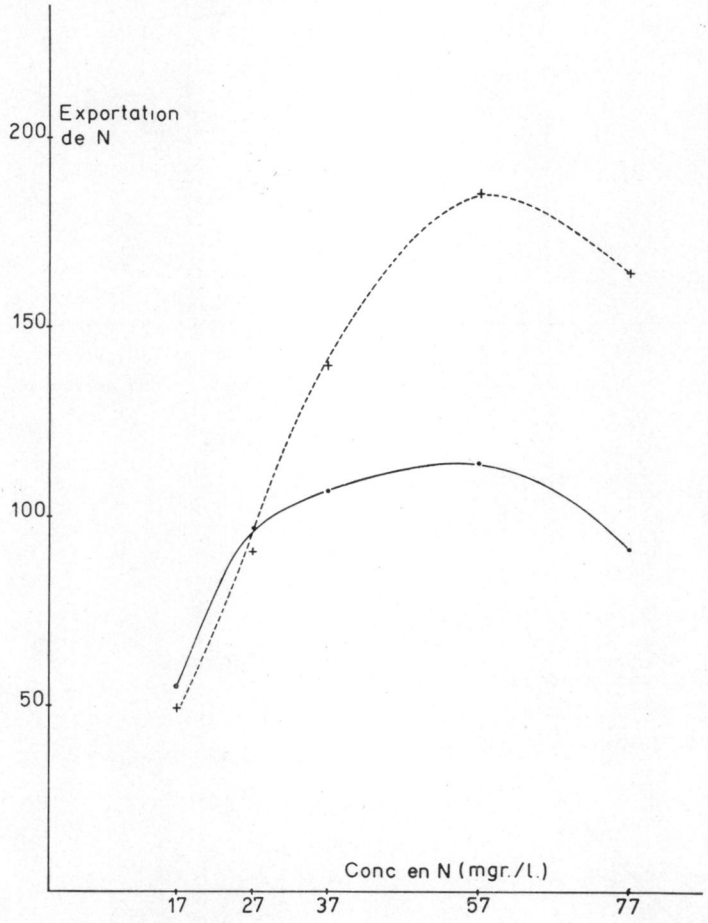
Des échantillons de 400 mg de matière sèche ont été placés dans des ballons de 50 cc et traités à chaud au bain-marie par de l'eau distillée.

Sur des fractions aliquotes du filtrat on a dosé l'azote nitrique par le

Dewarda et l'azote organique soluble par attaque Kjeldahl sans réduction de nitrates.

L'azote restant dans l'échantillon épuisé (azote organique insoluble) est dosé par attaque Kjeldahl.

Dans les courbes (19) on a représenté la teneur en azote sous les trois formes, exprimée pour 100 de matière sèche, en fonction de la concentra-

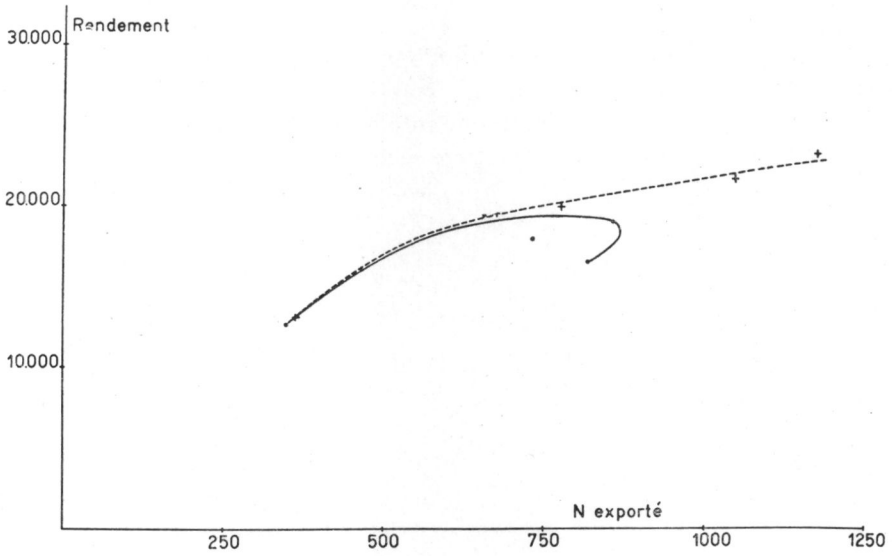


Courbes 11. — Exportations d'azote en fonction de la concentration du milieu (7e récolte).

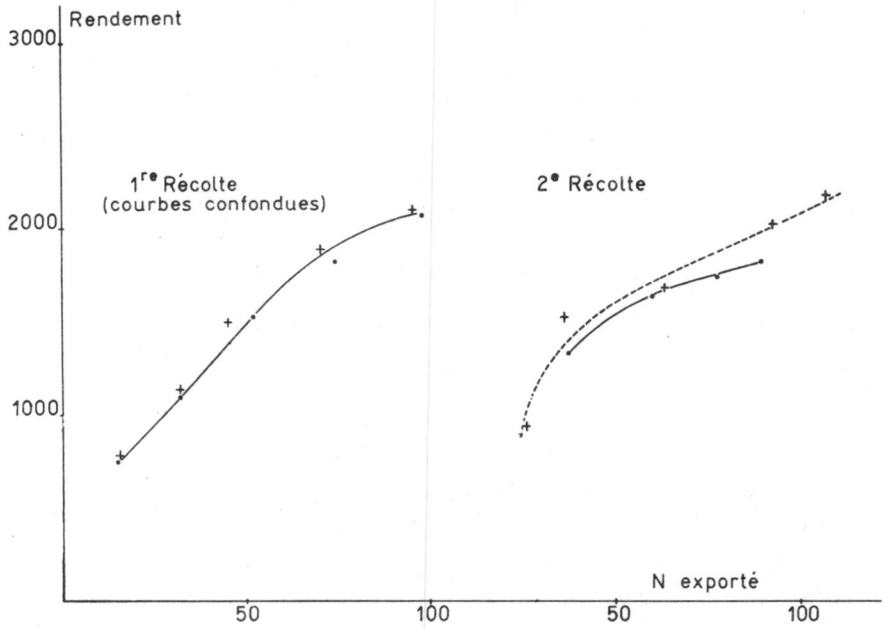
tion en azote du milieu. Une seule série de courbes a été représentée ici, celles relatives à la troisième récolte pour laquelle l'action de l'humus avait été particulièrement marquée.

Dans l'ensemble, la répartition de l'azote sous les trois formes est liée à la concentration du milieu sans qu'il y ait de différences notables entre les échantillons avec et sans humus.

Par contre les exportations totales d'azote diffèrent. Alors que dans



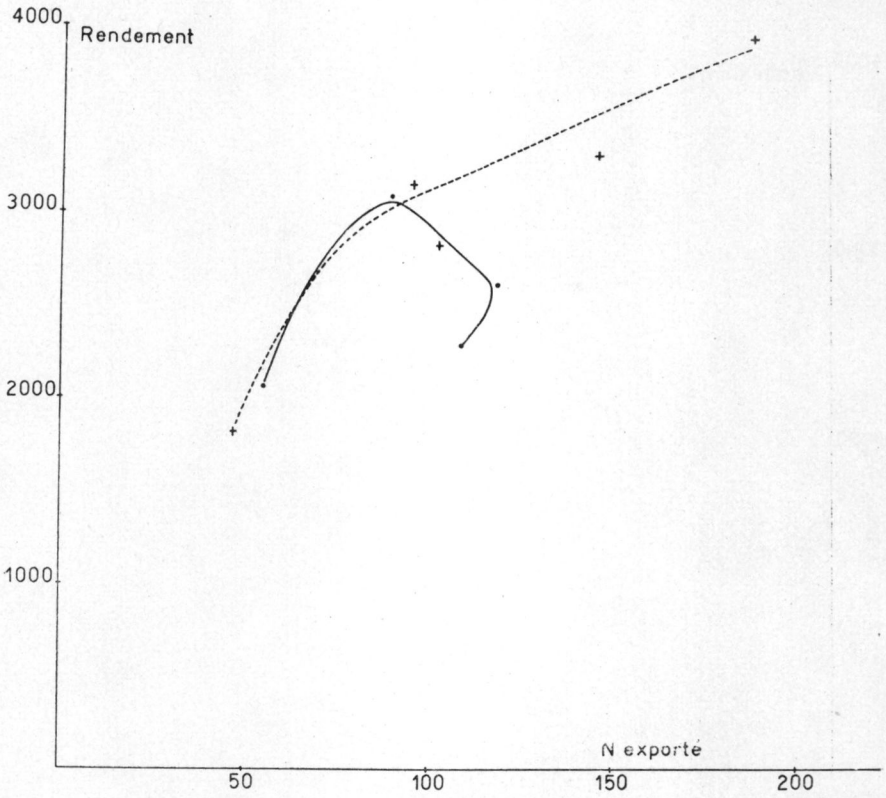
Courbes 12. — Rendement en fonction des exportations d'azote (Somme des huit récoltes).



Courbes 13. — Rendements en fonction des exportations d'azote.

les échantillons sans humus elles restent constantes pour l'azote nitrique et diminuent pour l'azote organique, au-delà d'une concentration de 57 mg/litre, elles continuent à augmenter en présence d'humus.

Tout se passe donc comme si, dans les témoins sans humus, au-delà d'une certaine concentration du milieu en azote, la plante se trouvait dans l'impossibilité d'utiliser des quantités supplémentaires d'azote. A partir



Courbes 14. — Rendements en fonction des exportations d'azote (3e récolte).

de ce moment, l'absorption d'azote se trouve arrêtée sans que la plante présente des accumulations anormales d'azote minéral.

En présence d'humus, au contraire, l'azote continue a être utilisé par la plante, même aux fortes concentrations.

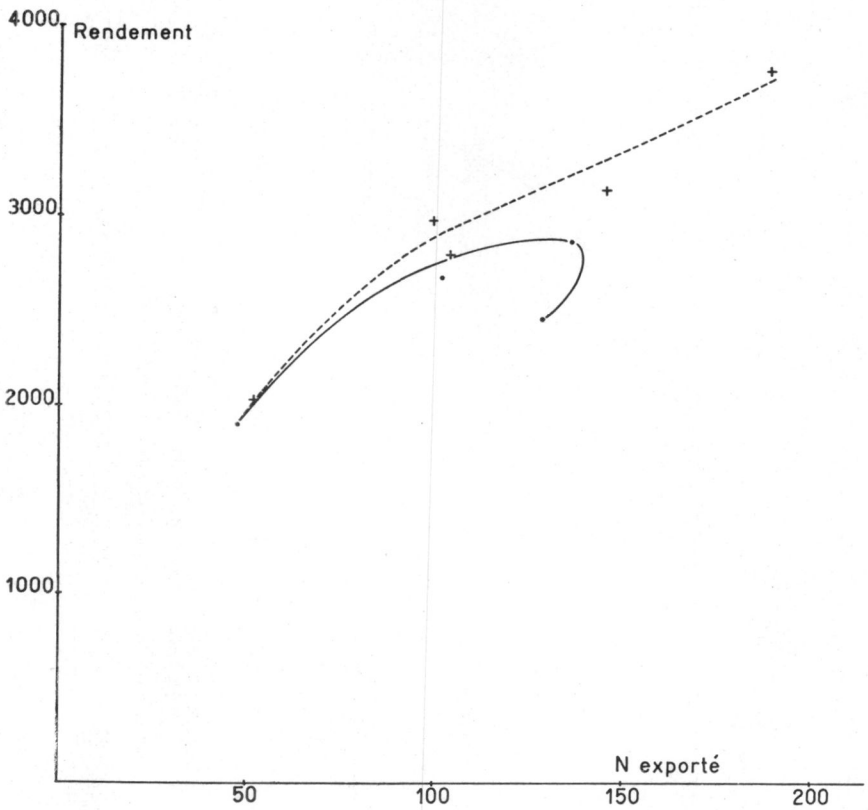
Sauf pour la première récolte où l'humus a été sans effet, les mêmes faits se retrouvent dans toutes les récoltes.

Bien que l'humus ait eu une influence extrêmement nette sur l'absorption de l'azote par les végétaux et les rendements obtenus, il n'a pas provoqué de différences notables, à concentration donnée en azote du milieu,

dans la composition de la matière sèche, en ce qui concerne les trois formes d'azote distinguées ici (azote nitrique, azote organique soluble, azote organique insoluble).

Conclusions des essais en solutions nutritives.

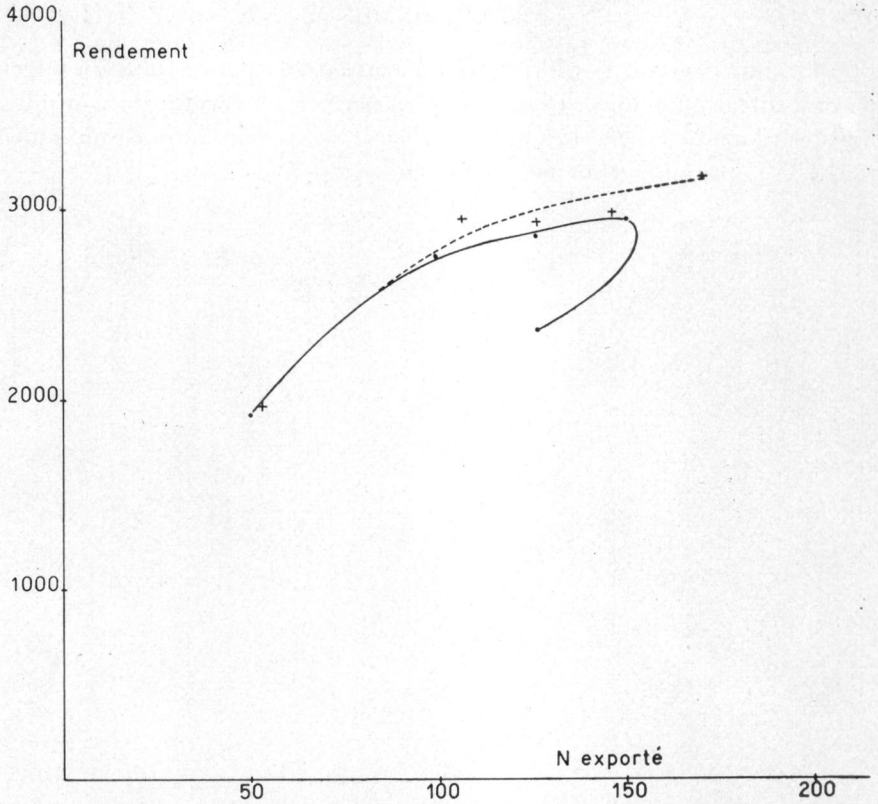
Il ressort des essais précédents que la présence dans la solution nutritive d'une dose de 2,5 mg/litre d'humate de sodium provenant de terreau a eu une action physiologique considérable sur le végétal.



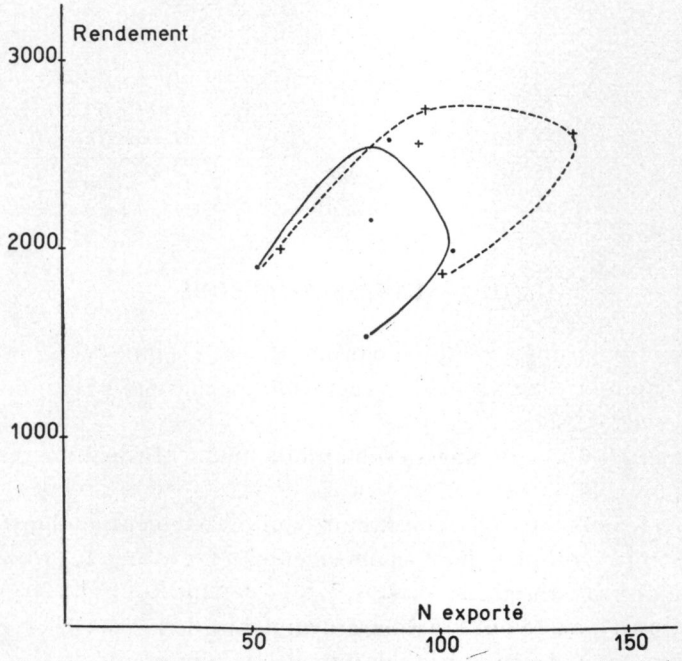
Courbes 15. — Rendement en fonction des exportations d'azote (4e récolte)

Sur l'ensemble des huit récoltes successives de Ray-grass, le rendement des plantes en solutions sans humus augmente jusqu'à ces concentrations en azote nitrique de la solution nutritive de l'ordre de 30 mg par litre. Il reste sensiblement constant lorsque la concentration passe de 30 à 60 mg et décroît pour des concentrations plus élevées.

En présence d'humus le rendement continue à croître jusqu'à des concentrations qui, dans tous les cas sont plus élevées qu'en l'absence d'humus.

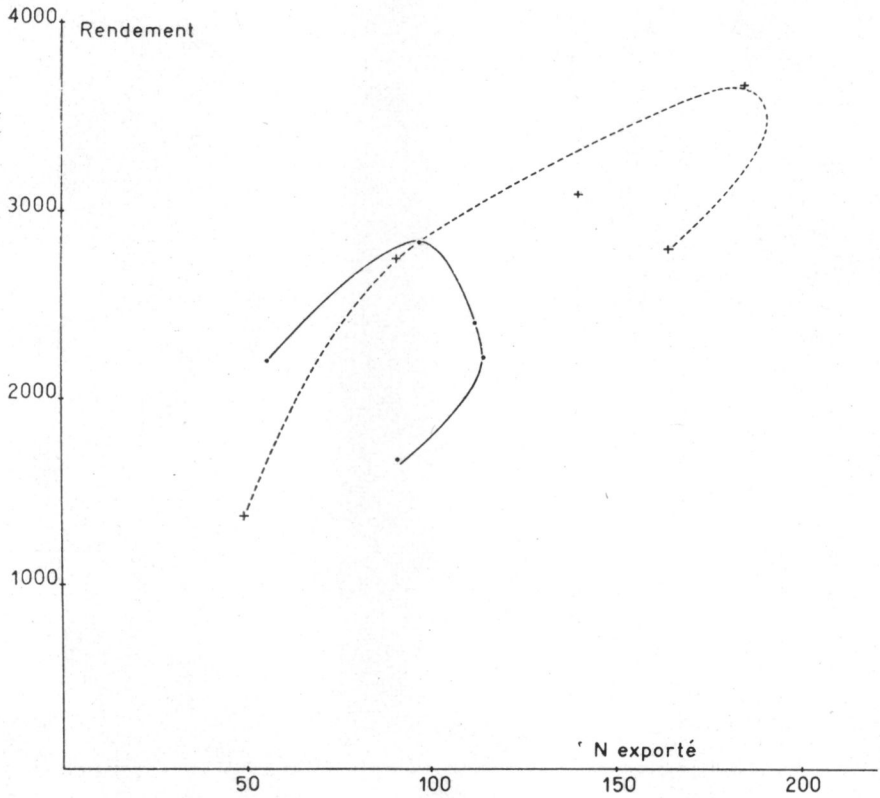


Courbes 16. — Rendement en fonction des exportations d'azote (5e récolte).



Courbes 17. — Rendement en fonction des exportations d'azote (6e révolte).

L'humus accroît l'absorption de l'azote par la plante dans un milieu de concentration donnée. D'autre part, il permet au végétal de continuer à utiliser l'azote à des doses qui, pour les témoins sans humus sont supérieures à l'optimum et même toxiques.



Courbes 18. Rendements en fonction des exportations d'azote (7e récolte)

II. — ESSAIS SUR SOLS

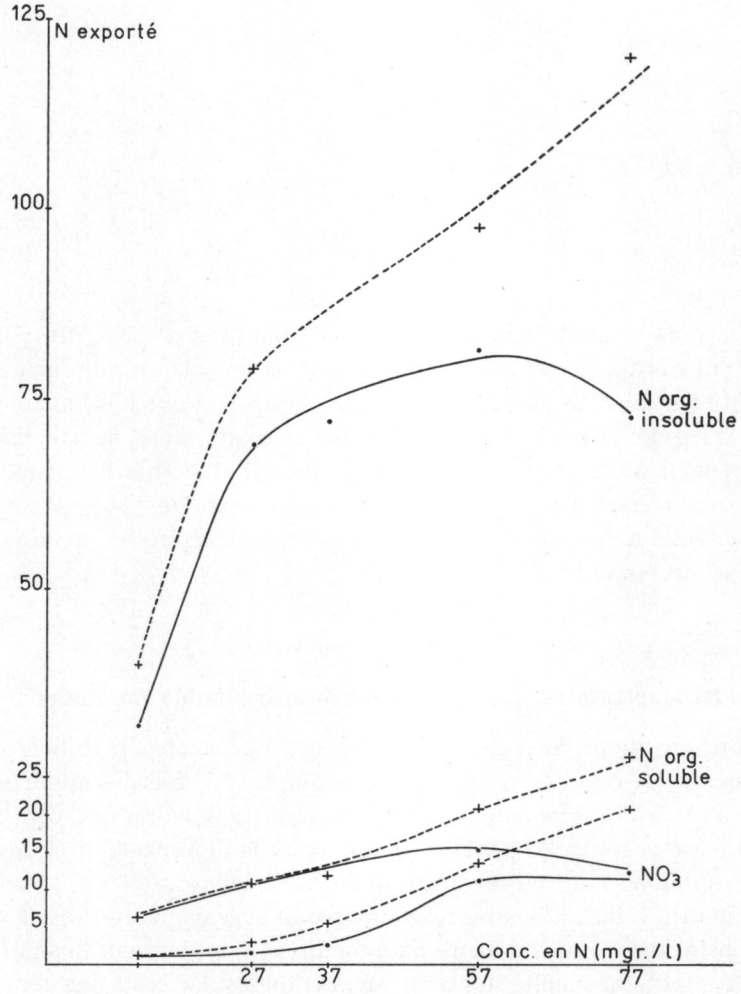
Les cultures ont été réalisées par un dispositif semblable au précédent. Elles ont comporté 20 vases de végétation en matière plastique, renfermant 1,400 kg de sol sec.

L'expérience a porté sur un sous-sol de limon, très pauvre en matière organique.

Tous les pots ont reçu une fumure uniforme correspondant à 50 mg P_2O_5 sous forme de phosphate monocalcique et 250 mg K_2O sous forme de sulfate de potassium.

Dix doses d'azote ont été ajoutées au début de l'expérience, allant de 0 à 245 mg par pot sous forme de nitrate d'ammonium.

Le sol de dix pots était enrichi en humus par addition d'une suspension d'acide humique provenant de terreau, de telle sorte que la teneur du sol en humus soit portée à 0,373 p. 100. La suspension d'acide humique



Courbes 19. — Exportations d'azote sous différentes formes en fonction de la concentratiom du milieu (3e récolte)

était très soigneusement mélangée à l'ensemble du sol afin d'obtenir une répartition homogène de l'humus. La quantité d'humus ainsi ajoutée au sol est élevée. Elle correspond à environ 12 t d'acide humique à l'hectare, dose que l'on rencontre dans les sols dont les réserves organiques sont soigneusement entretenues.

Le sol témoin était mélangé dans les mêmes conditions avec un volume

d'eau distillée égal au volume de la suspension d'acide humique. Après dessiccation et tamisage le sol était placé dans les vases de végétation.

Voici le plan général de l'essai.

Numéros des pots.		Doses de N (mg par pot)
sans humus	avec humus	
1	11	0
2	12	12,25
3	13	24,05
4	14	36,75
5	15	49
6	16	73,5
7	17	98
8	18	147
9	19	196
10	20	245

Les pots étaient humidifiés par une quantité d'eau correspondant aux 2/3 de la capacité maximum de saturation du sol et maintenus à cette humidité pendant toute la période de végétation. Pour le semis de Ray-grass, 1,2 g de graines était mélangé à 20 g de sable fin, le mélange étant réparti uniformément à la surface du sol et humidifié. Pendant la période de germination les pots étaient recouverts de plaques de verre.

Le semis a été effectué le 23 mai et la 1re récolte le 15 juin. Trois récoltes successives ont été faites.

Résultats obtenus.

Rendements en fonction de l'azote disponible du milieu.

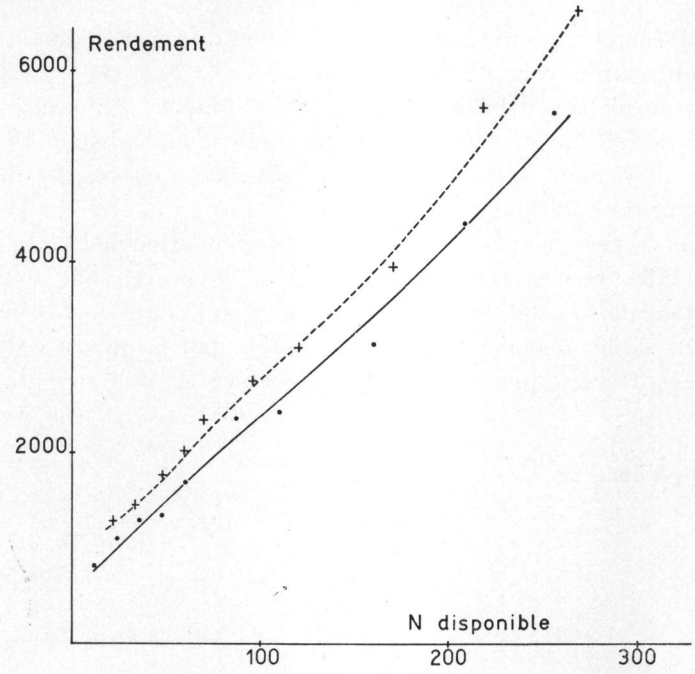
Pour exprimer correctement l'influence de l'azote du milieu sur les rendements, il est indispensable de tenir compte, à la fois des apports d'engrais azoté, des réserves du sol, et de la quantité d'azote, qui a pu, éventuellement être fournie à la plante aux dépens de l'humus ajouté. Ces deux dernières données ont été évaluées de la façon suivante :

Dans les échantillons ne recevant pas d'engrais azoté (pots 1 et 11) les exportations totales d'azote n'augmentent que de façon insignifiante entre la 2e et la 3e récolte, les rendements donnés par cette dernière étant très faibles par suite de la carence en azote du milieu. On a pris comme quantité d'azote fournie par les réserves du sol d'une part et les réserves du sol plus l'humus ajouté d'autre part, l'exportation totale des 3 premières récoltes par les témoins sans engrais azoté.

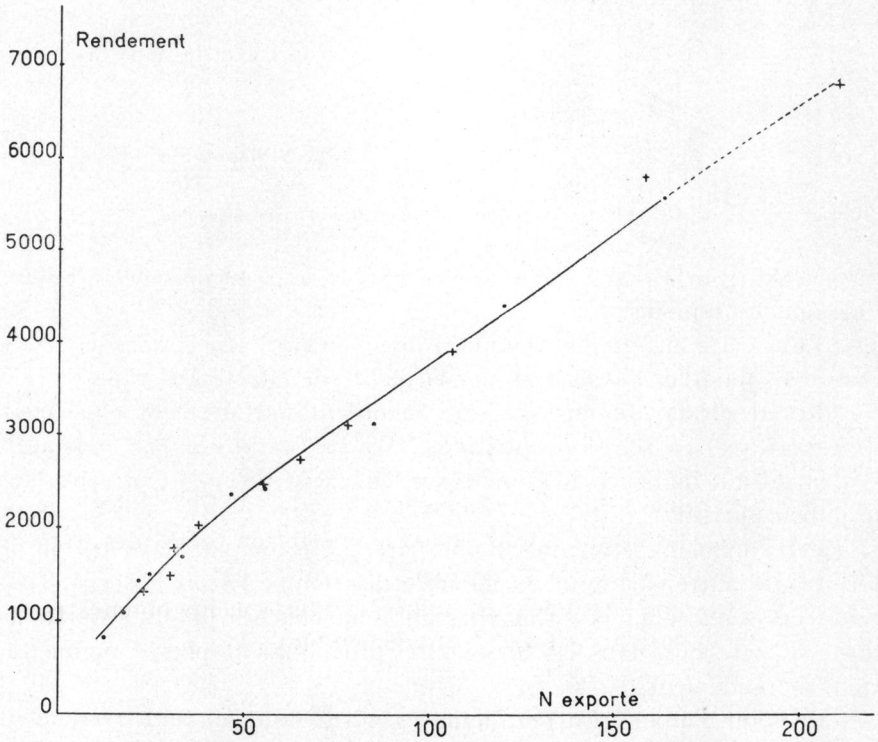
Les courbes (20) expriment la somme des rendements obtenus pour les trois récoltes en fonction de l'azote disponible.

En abscisse on a porté la somme :

Azote fourni par les réserves du sol + azote des engrais pour les échantillons témoins.



Courbes 20. — Rendements en fonction de l'azote disponible.



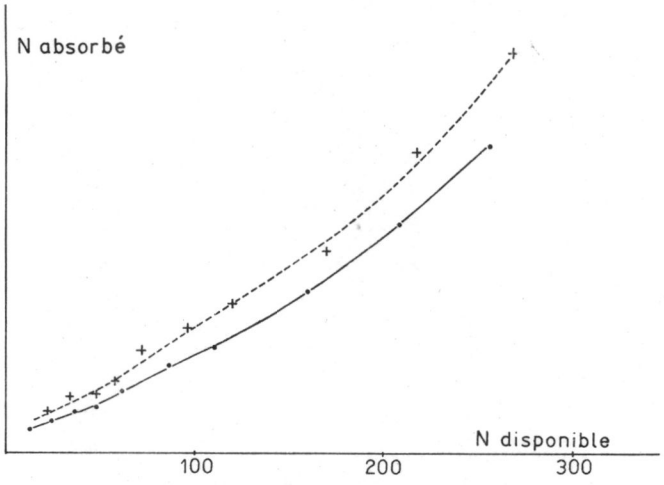
Courbes 21. — Rendements en fonction de l'azote exporté.

Et la somme : Azote fourni par les réserves du sol et l'humus + azote des engrais pour les échantillons avec humus.

On voit que la courbe des rendements en présence d'humus est située au-dessus de celle des témoins ; à quantité égale d'azote disponible dans le milieu, le rendement a été accru par la présence d'humus. Ce dernier a donc augmenté l'efficacité de l'azote.

Si l'on trace les courbes des rendements en fonction de l'azote absorbé par les plantes (courbe 21), on voit que les deux courbes sont confondues. L'utilisation de l'azote absorbé — définie comme dans le cas des expériences sur sable — n'a donc pas été modifiée par la présence d'humus.

Par contre les quantités totales absorbées en fonction de l'azote



Courbes 22. — Azote absorbé en fonction de l'azote disponible.

disponible (courbes 22) sont toujours plus élevées en présence d'humus que dans les témoins.

Dans cette expérience l'humus a donc agi sur l'absorption de l'azote mais sans modifier l'utilisation par la plante de l'azote absorbé.

Les résultats obtenus sur sol concordent parfaitement avec ceux ds expériences en solution nutritive. Dans ces dernières, on constatait également une influence de l'humus sur l'efficacité de l'azote présent dans le milieu nutritif.

Cette influence était due, d'une part, à l'action sur l'absorption de l'azote et d'autre part à une meilleure utilisation de l'azote absorbé. Toutefois ce second effet ne se manifestait (voir courbes 12) qu'à partir de doses d'azote qui, dans les témoins ne provoquaient plus d'augmentations de rendement.

Ce point n'a pas été atteint dans les cultures sur sol, où le rendement a toujours cru régulièrement en fonction des quantités d'azote apportées.

RÉSUMÉ

Des essais en vases de végétation avec solutions nutritives ou sur sols ont montré que la présence dans le milieu de culture d'un humate de sodium extrait de terreau a augmenté l'efficacité de l'azote à l'égard du végétal. Cette augmentation d'efficacité est en relation avec une absorption accrue d'azote par la plante pour une teneur déterminée du milieu de culture en cet élément. D'autre part, la présence d'humus a permis à la plante d'utiliser l'azote à des concentrations qui, en l'absence d'humus, ne provoquaient plus d'augmentations de rendement ou atteignaient même la dose toxique.

SUMMARY

The effect of humified organic matter on the efficiency of nitrogen.

Pot experiments using nutrient solutions or soils showed that the presence in the culture medium of a sodium humate, extracted from compost, increased the effect of nitrogen on the plant. This increase in efficiency is due to an increased uptake of nitrogen by the plant at a given nitrogen concentration in the culture medium. The presence of humus also enables the plant to utilize nitrogen in concentrations which would otherwise not lead to further yield increases, or be even toxic, in absence of humus.

ZUSAMMENFASSUNG

Topfversuche mit Nährlösungen oder mit Böden haben gezeigt, dass das Vorhandensein von Natriumhumat (aus Kompost) in Nährmedium die Wirksamkeit des Stickstoffs gegenüber der Pflanze erhöht. Die Steigerung der Wirksamkeit steht in Zusammenhang mit einer höheren Stickstoffaufnahme durch die Pflanze bei einer bestimmten Menge dieses Elementes im Nährmedium. Andererseits, durch das Vorhandensein von Humus konnte die Pflanze mehr Stickstoff ausnutzen und zwar bei Konzentrationen wo, in Abwesenheit von Humus, keine Ertragssteigerung mehr stattfindet oder sogar toxische Wirkung zum Ausdruck kommt.

Влияние превратившихся в гумус органических веществ на эффективность азота.

Реймонд ШАМИНАД.
Версальская Центральная Агрономическая станция.

РЕЗЮМЕ

Опыты с питательными растворами на растениях в сосудах или в почве показали, что присутствие в питательной среде гумата натрия, извлеченного из сильно перегнившего навоза, увеличило эффективность азота для растения. Это увеличение эффективности находится в зависимости от увеличения поглощения азота растением при определенном содержании этого элемента в среде. С другой стороны, присутствие гумуса позволило растению использовать азот в концентрациях, которые, при отсутствии гумуса, не определяли больше увеличения производительности и даже становились вредными.

BIBLIOGRAPHIE

(1) BURGEVIN (H.). — Action des humates alcalins. Expériences en vases de végétation. *Ann. Agr.*, **1**, 11, 1943.
(2) BARBIER (G.). — Observations sur les produits humiques à base de tourbe et de lignite. *Ann. Agr.*, **1**, 36, 1943.
(3) CHAMINADE (R.). — Réaction de l'*Aspergillus niger* aux substances de croissance présentes dans la matière organique humifiée. *C. R. Ac. Sc.*, **239**, 1844, 1954.
(4) CHAMINADE (R.) et BLANCHET (R.). — Action de l'humus colloïdal sur la nutrition minérale des végétaux. *C. R. Ac. Sc.*, **233**, 1486, 1951.
(4) CHAMINADE (R.) et BLANCHET (R.). — Influence de l'humus sur la nutrition minérale de la plante dans le sol. *C. R. Ac. Sc.*, **234**, 878, 1952.
(4) CHAMINADE (R.) et BLANCHET (R.). — Action stimulante de l'humus sur le développement et la nutrition minérale des végétaux dans le sol. *C. R. Ac. Sc.*, **236**, 119, 1953.
(4) CHAMINADE (R.) et BLANCHET (R.). — Mécanisme de l'action stimulante de l'humus sur la nutrition minérale des végétaux. *C. R. Ac. Sc.*, **237**, 1768, 1953.
(5) CHAMINADE (R.). — Action de l'acide humique sur le développement et la nutrition minérale des végétaux. *C. R. VIe Congrès Int. de la Sc. du Sol*, IV, 65, 1956.
(6) CHAMINADE (R.). — Humus et fertilité. *Bull. A. F. E. S.*, **75**, 464, 1956.
(7) CHAMINADE (R.). — Rechèrches sur le rôle de la matière organique dans la fertilité des sols. *Ann. I. N. R. A. Ann. Agr.*, **1**, 95, 1952. — **4**, 399, 1953.
(8) CHRISTEVA (L. A.). — Rôle de l'acide humique dans la nutrition des plantes. Engrais humiques. Trav. de l'Inst. Dokutchaiev, **38**, 108, 1951.
(9) CHRISTEVA (L. A.). — Participation d'acides humiques et d'autres substances organiques à la nutrition des plantes cultivées. *Pedology*, **10**, 46, 1953.
(10) FLAIG (W.). — Zur Chemie der Huminsäuren und deren Modellsubstanzen. *C. R. VIe Congr. Int. de la Sc. du Sol*, II, 471, 1956.
(11) FLAIG (W.). — Uber der Einfluss von Spuren von Humusstoffen bzw, deren Modellsubstanzen auf das Pflanzenwachstum. *Land, Forsch*, VIII, 133, 1953 (Bibliographie).
(12) SAALBACH (E.). — Einfluss von Humusstoffen auf den Stoffwechsel der Pflanzen. *C. R. VIe Congr. Int. de la Sc. du Sol*, IV, 107, 1956.
(13) NIKLEWSKI (B.). — Influence des éléments colloïdaux sur la production végétale. *Ann. Agr.*, **1**, 337, 1931.
(14) KONONOWA (M. M.). — L'humus des types principaux de sols de l'U. R. R. S. Sa nature et son rôle dans les processus pédologiques. *C. R. VIe Congrès Int. de la Science du Sol*, II, 557, 1956.
(15) KONONOWA (M. M.). — Humus du sol et fertilité. *Privoda*, **12**, 21, 1955.
(16) BLANCHET (R.). — Influence des colloïdes humiques sur différentes phases de l'absorption des éléments minéraux par les plantes. *C. R. Ac. Sc.*, **244**, 2418, 1957.

ÉTUDE SUR LA PHYSIOLOGIE DE LA NUTRITION DE L'OLIVIER

(CINQUIÈME MÉMOIRE)

PAR

A. BOUAT
Chef de Travaux de Chimie

P. RENAUD
Chef de Travaux de Botanique
chargé de Mission du Service d'Oléotechnie.

et

Jean DULAC
Assistant de Chimie
Centre de Recherches agronomiques du Midi,
Ecole Nationale d'Agriculture, Montpellier.

PLAN DU MÉMOIRE

I. — Introduction.

II. — Conduite habituelle des oliviers du verger français :
- A. Vue d'ensemble de la charpente.
- B. Critiques :
  - *a*) Biologiques.
  - *b*) Agronomiques.

III. — Conduite « basse tige libre » d'une olivaie expérimentale :
- A. Conditions de l'expérience.
- B. Résultats de la fructification.
- C. Essais de fumure.
- D. Diagnostic foliaire de l'expérience :
  - 1° Alimentation globale.
  - 2° Equilibres physiologiques.

IV. — Conclusion sur le mode de conduite en « basse tige libre » :
- A. Forme de l'arbre.
- B. Diverses tailles à envisager.
- C. Fumures corrélatives.

V. — Conclusions générales.

ESSAI SUR LA CULTURE DE L'OLIVIER EN « BASSE TIGE LIBRE »

INTRODUCTION

Par suite d'une longévité exceptionnellement grande, une résistance légendaire aux plus mauvaises circonstances culturales, l'absence depuis plusieurs siècles de plantations nouvelles importantes, le désintéressement que montrent de nombreux propriétaires pour leurs olivaies, le Problème de la *Formation* et de la *Conduite* de l'olivier a pu être jugé sans importance en France jusqu'à ces derniers temps. Les quelques jeunes plants mis en terre chaque année, notamment pour combler les vides dans les vergers en production, étaient tout simplement menés à l'image des arbres voisins.

Cette question d'ailleurs ne semble pas avoir beaucoup préoccupé les techniciens anciens à moins qu'ils aient jugé la cause définitivement entendue. Ce sont en effet exactement les mêmes figures que nous trouvons sur ce sujet dans les traités généraux d'oléiculture que nous avons entre les mains. Nous les observons pour la première fois dans le « Cours d'Arboriculture » de Du Breuil de 1854 puis successivement dans les ouvrages suivants : « L'olivier » de Coutance (1877), « l'olivier » de Degrully et « l'olivier » de J. Bonnet. Elles ont été reproduites avec la même fidélité en Afrique du Nord : « l'Olivier en Tunisie » de Tournieroux (1929), en Italie : « l'Olivicultura » de Francolini (1923), Espagne « Olivicultura » de Priego (1932).

Elles préfigurent la formation d'une charpente (gobelet sur tronc de 80 à 100 cm) obtenue par suppression annuelle de toutes les brindilles qui se sont formées pendant la belle saison à la seule exclusion de celles que l'on considère comme premières charpentières.

Actuellement certaines circonstances concourent à redonner à ce problème toute sa valeur. Ce sont notamment : les dégâts de février 1956 qui vont, à cause de leur gravité, nécessiter la régénération parfois entière de nombreux vergers — l'existence, par suite d'arrachage de vignes, de terres ne convenant qu'à la culture de cet arbre — une connaissance plus approfondie de la biologie de l'olivier mais également diverses conditions économiques favorables.

II. — CONDUITE HABITUELLE DES OLIVIERS DU VERGER FRANÇAIS

A. — Vue d'ensemble de la charpente.

Le verger oléicole de la France métropolitaine est constitué dans sa très grande majorité par des arbres âgés de plusieurs centaines d'an-

nées. Un très grand nombre d'entre eux étaient dans un mauvais état sanitaire même avant les froids de février 1956.

Dans l'ensemble les divers types de charpente que l'on y rencontre se rapportent plus ou moins à la forme dite en « gobelet » à moyenne ou haute tige.

L'aspect général de ses différents éléments sont les suivants :

1° Le tronc. — Avec une base élargie l'aspect tourmenté, le tronc présente une hauteur très variable même pour des arbres d'une variété donnée. Cette hauteur d'ailleurs n'a pas en elle-même une grande importance ainsi que nous le verrons ci-dessous. Il est rare qu'il soit complètement sain, le plus souvent il est partiellement détruit, dans ses parties profondes, par une carie saprophytique ou parasitaire. Seules sont vivantes des bandes plus ou moins larges « les veines ».

2° Les branches charpentières. — La principale caractéristique de ces éléments est encore l'irrégularité. Pour un même développement foliaire, le nombre des charpentières varie facilement du simple au triple. Celles-ci se croisent, s'entrecroisent et ne portent parfois des brindilles feuillées qu'à leur extrémité. Leur état sanitaire n'est souvent pas meilleur que celui du tronc.

Dans ses parties maîtresses, la charpente n'est, sauf exception variétale, renouvelée qu'à la suite d'accidents particulièrement graves. Les arbres à plusieurs troncs que l'on rencontre parfois dans la campagne proviennent d'une régénération occasionnée par la destruction totale de la charpente à la suite de froids rigoureux.

3° La frondaison. — Grâce à la très grande facilité avec laquelle l'olivier émet des bourgeons sur du bois de tout âge (même très vieux) l'oléiculteur arrive malgré les imperfections de la charpente à obtenir un ensemble de végétation assez régulièrement réparti sur le pourtour de l'arbre. Sous prétexte que ce sont les « baissières » (rameaux pendants) qui sont les plus fertiles, toutes les opérations de taille visent exclusivement à leur développement. Aussi sont-elles effectuées, très souvent, sans tenir compte du port naturel de l'arbre.

La distance qui sépare le niveau inférieur de la frondaison du sol est de l'ordre de deux mètres de façon à permettre le passage du cheval lors des labours jusqu'aux environs immédiats du tronc. La partie de la charpente dénudée de toute végétation n'intéresse alors que le tronc lui-même si celui-ci a cette hauteur. Elle gagne les charpentières au cas où il est plus court. Si par exemple il a 60 à 80 cm les premières branches feuillées se trouvent reportées sur les 3e et même 4e charpentières.

Par suite surtout de cette dénudation des parties basses le niveau supérieur de la végétation n'est jamais accessible sans l'aide d'une longue échelle, à moins de tailles à la fois fréquentes et sévères.

A cette formation en gobelet sur tige avec suppression de toute végétation sur une certaine hauteur et recherche des « baissières » à tout prix, on peut faire les critiques suivantes, d'ordre biologiques et agronomiques.

B. — Critiques de cette Conduite.

a) Critiques biologiques.

I. — Port de l'arbre.

Toute espèce végétale, et même toute variété a un « port naturel » (Photo nº 1), c'est-à-dire une répartition dans l'espace de ses divers éléments de charpente qui lui est propre. Il ne s'exprime pleinement que dans des conditions de milieu optimales. Grâce à sa plasticité la plante peut modifier son comportement spécial dans une certaine mesure si les conditions le lui imposent. Mais elle « réagit » lorsque celles-ci sont exagérées. Par ailleurs elle tend à reprendre son port naturel lorsque le milieu redevient plus favorable. Ainsi, par des interventions appropriées on peut imposer des formes bien différentes les unes des autres à des arbres d'une même variété. Si ces formes ne sont pas trop en contradiction avec le « port naturel », les arbres les supportent sans réagir. Dans le cas contraire, c'est-à-dire dès que les opérations tendent à obtenir des productions végétatives en nombre et position trop différentes de ce que la plante donne d'elle-même normalement, il y a réaction.

En ce qui concerne l'olivier, celle-ci est rapide par suite de la faculté qu'il a d'émettre très facilement des bourgeons sur du bois de tout âge. Elle se traduit par une diminution très rapide de la vitalité des rameaux en position anormale ou en nombre exagérément élevé et par l'apparition de « gourmands » qui sont d'autant plus nombreux que le déséquilibre de la répartition de la sève est plus grand. Ainsi l'oléiculteur a toujours intérêt à tenir compte de l'avertissement que lui donne les gourmands s'il veut utiliser au mieux les solutions nutritives puisées dans le sol par les racines.

Par exemple l'apparition de gourmands tout au long d'une charpentière est le test indiscutable d'une mauvaise position de celle-ci ou de son mauvais état sanitaire. La formation d'un ensemble de rameaux vigoureux et nombreux en un point quelconque d'une charpentière indique que la partie de la branche située au-delà de cette zone ne peut recevoir toute la sève qui lui est dévolue, soit par suite d'un accident (gel, mutilation), soit par suite d'une affection parasitaire (champignon, insecte...), soit par suite d'une intervention de l'arboriculteur (incision annulaire...).

Lorsque ces gourmands s'observent, comme cela est parfois le cas,

sur des charpentières saines on peut sans crainte d'erreur affirmer que ces dernières n'ont pas une position conforme au port naturel ou que la taille n'est pas rationnelle.

D'autre part à l'examen du mode de ramification de l'olivier, on s'aperçoit que contrairement à beaucoup d'arbres fruitiers (cerisier

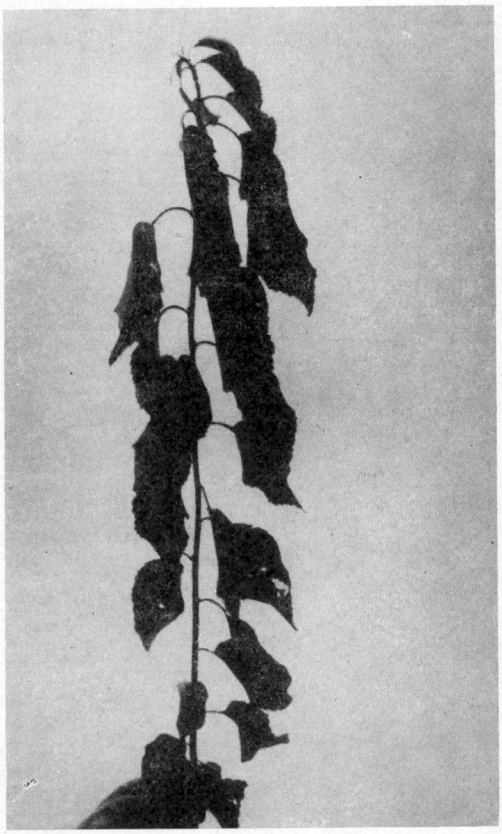


PHOTO 1. — a) Cerisier.

Deux modes de ramifications différents : Cerisier (type bigarreau) et olivier (type Picholine). a) *Cerisier*. Pendant toute l'année, le bourgeon terminal conserve sa prédominance sur les bourgeons latéraux, à moins de grandes variations des conditions de milieu. Après épointement ou au printemps suivant seuls les 2 ou 3 bourgeons du sommet se développent, les autres n'évoluent pas, tout au moins à bois.

On obtient très rapidement et très facilement avec les espèces ayant ce mode de végétation des arbres au tronc unique et plus ou moins élevé car on ne s'éloigne pas du « port naturel » de l'arbre.

par exemple) dont les pousses de l'année restent pendant toute leur première année longues et simples, les siennes ont tendance, pour peu qu'elle soient vigoureuses, à se ramifier abondamment dès les premiers entre-nœuds. L'un de nous a déjà signalé antérieurement ce mode de végétation « en bouquet » ou en « buisson ».

Vouloir obliger un arbre qui par prédisposition naturelle se ramifie abondamment dès la base, à former rapidement un tronc et des premières charpentières dénudées (en supprimant toutes pousses latérales) ne peut que provoquer des troubles importants dans son com-

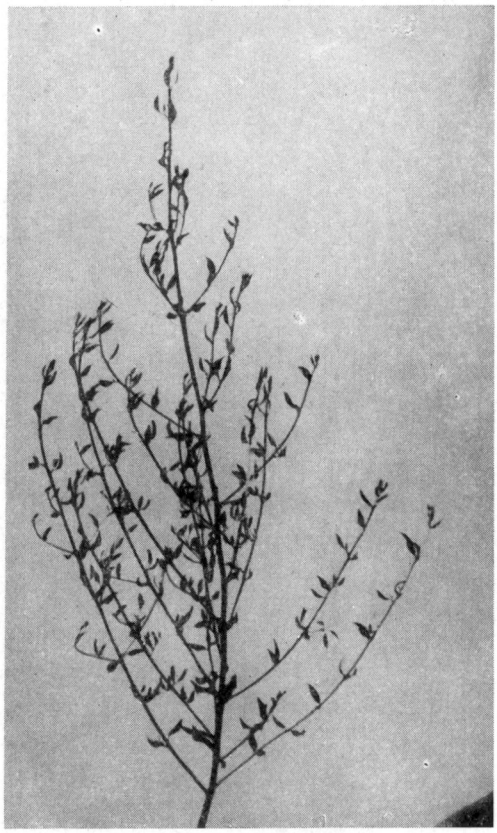


PHOTO 1. — b) Olivier.

b) Olivier. Très précocement, la prédominance du bourgeon terminal de la pousse annuelle, sur les bourgeons latéraux, s'affaiblit et ces derniers en grand nombre s'allongent au bout de quelques semaines de végétation printanière. Les brindilles qu'ils donnent montrent la même évolution que la pousse principale. Le port naturel d'une plante qui présente ce type de végétation est le « buisson ». L'obtention rapide d'un arbre à tronc plus ou moins élevé est ici sous les climats peu favorables contraire au port naturel. Elle provoque par ailleurs des réactions qui se traduisent chez l'olivier notamment par l'émission de nombreux rejets au niveau du collet.

portement ultérieur. L'utilisation pour la création de vergers, de rejets de souches ou de plants sectionnés à 80-100 cm au moment de la plantation ne saurait modifier entièrement ce trouble.

2. — CIRCULATION DE LA SEVE.

Dans les tissus d'une plante la sève présente non seulement une circulation verticale (ascendante et descendante) mais également une

circulation latérale. Grâce à des tissus conducteurs spécialisés le déplacement vertical est rapide. On sait la sève ascendante ou minérale est véhiculée par les vaisseaux de l'aubier, que la sève descendante ou carbonée par les tubes criblés du liber situés à l'extérieur des premiers.

PHOTO 2. — Nécroses occasionnée par le greffage en coulée sous écorce.

La greffe en coulée sous écorce est sans aucun doute parmi celles qui doivent provoquer le moins de trouble dans l'assemblage greffon-sujet : les plaies sont très réduites et la suppression de l'extrêmité du sujet n'est effectuée qu'après le développement du greffon.

Malgré ces conditions favorables à une bonne reprise le sujet se dessèche à l'opposé du greffon sur prés de 10 cm de longueur et son accroissement en diamètre dans les premiers mois, a lieu presque uniquement sous le greffon.

C'est celle-ci qu'on interrompt surtout par le truchement de l'incision annulaire. La circulation latérale c'est-à-dire le passage de la sève d'une cellule à la cellule située à côté d'elle est beaucoup moins rapide en général. Dans le cas de l'olivier tout se passe comme si elle n'était possible qu'à très faible distance.

Les exemples suivants semblent bien en être la preuve :

Greffage en coulée sous écorce (Photo nº 2).

Le greffage en coulée sous écorce consiste à glisser un greffon, taillé en biseau, sous l'écorce du sujet.

Alors qu'avec n'importe quel autre arbre fruitier les tissus du sujet

PHOTO 3. — Nécrose occasionnée par le greffage en placage (vue de bas en haut d'un tronc d'olivier sectionné à mi hauteur du tronc).

Cet arbre avait été surgreffé à raison d'un placage d'écorce sur chacune des quatre charpentières. Les charpentières incisées furent supprimées 3 ans après l'opération.

Ultérieurement seules les bandes de tissus situées au-dessous des greffons continuèrent à se développer normalement donnant ce contour festonné formé de « veines » vigoureuses alternant avec des zones moins vigoureuses ou même mortes. Une de ces veines est séparée complètement de ses voisines.

restent en totalité vivants, (sauf au voisinage immédiat de la plaie provoquée par le sectionnement du sujet) et au bout de quelques années ne font plus qu'un avec le greffon, dans l'olivier il n'en est pas ainsi. Après disparition de la partie inutile du sujet une nécrose de celui-ci apparaît au niveau de la plaie, à l'opposé du greffon et gagne latéralement.

En même temps elle descend le long du plant même si celui-ci est de faible diamètre. Avec un sujet de 15 mm de diamètre la nécrose a près de 10 cm de long. Dans les années qui suivent les tissus situés en-dessous du greffon sont plus développés que ceux qui, pourtant restés vivants, lui sont opposés.

Greffage en placage d'olivier adulte (Photo nº 3).

Le greffage sur gros rameaux se fait par placage d'écorce. La reprise est très bonne, le développement des yeux du greffon est assuré par une incision annulaire faite immédiatement au-dessus. Un ou plusieurs greffons sont posés suivant la grosseur de la branche de charpente.

Malgré une suppression progressive des gourmands qui se développent abondamment en même temps que les yeux du greffon sous l'incision seuls au bout de quelques années les tissus situés sous les greffes et immédiatement voisins continuent à se développer, contribuant ainsi à former ces « veines » si caractéristiques des vieux oliviers. Les autres, c'est-à-dire ceux qui sont entre deux veines, ne se développent pas et finissent par sécher. Chaque greffe peut même s'isoler de la voisine et constituer un individu indépendant n'ayant de commun avec le voisin qu'un même tronc mort ne servant plus alors que de support.

La séparation est encore plus complète qu'il paraît. La nécrose gagne en effet le système radiculaire qui n'est pas en contact avec la veine ainsi formée et chaque greffon a par la suite un système radiculaire propre.

Le même phénomène se produit lorsqu'une plaie importante se produit sur une charpentière. Tous les tissus situés en-dessous d'elle perdent petit à petit de leur vitalité et meurent, même ceux de la partie du système radiculaire qui alimentaient normalement la branche disparue.

3. — Accidents et maladies.

Accidents.

Par suite de la situation géographique de la France, l'olivier y est appelé à souffrir de temps à autres des froids. Ceux-ci sont souvent légers et ne se traduisant que par des accidents peu importants et vite réparés.

Parfois au contraire ils intéressent les parties essentielles de la charpente. Détruisant partiellement et irrégulièrement les tissus situés entre écorce et bois ils provoquent de nombreux et importants arrêts de sève déterminant des nécroses longitudinales et des émissions de gourmands en grand nombre dans les parties basses de l'arbre.

Vouloir refaire celui-ci, en conservant le maximum de la charpente antérieure c'est-à-dire à l'aide des brindilles qui apparaissent le plus

haut qu'il soit, est une grosse erreur. Une charpente gravement atteinte ne se refait pas. Il faut repartir sur les pousses du collet qui sont vigoureuses.

Maladies.

Les plaies importantes, quelle que soit leur origine, sont des portes d'introduction aux parasites du bois. Parmi ceux-ci divers polypores sont assez fréquents. Leur développement à l'intérieur de l'arbre est lent mais l'issue n'en est pas moins certaine. C'est la disparition totale de l'arbre à plus ou moins bref délai.

L'un de nous, à Nyons à l'examen des dégâts des froids de février 1956, en a montré des exemples aux élèves de l'Ecole Supérieure Temporaire d'Oléiculture. Un propriétaire constatait depuis plusieurs années des chutes de branches charpentières de plus en plus nombreuses. Il a été reconnu facilement que tous ses arbres étaient atteints de champignons du bois. Cette infection généralisée devait avoir pour origine les plaies faites après les grands froids de 1929.

Ainsi notre « zone oléicole » ne paraît pas favorable à l'installation de charpente saine de très longue durée.

b) **Critiques agronomiques.**

1. — Recolte et taille.

Le ramassage des fruits est à coup sûr un des facteurs dont l'incidence sur le prix de revient de ces produits est primordiale. Si l'on considère que dans les conditions actuelles de culture une femme peut récolter en moyenne 35 kg par jour les années de production normale, que sa journée se chiffre aux environs de 700 francs, cela représente une valeur de 20 francs dont se trouve grever par ce seul facteur le kilo d'olives. Pour les olives d'huilerie dont le prix de vente ces années dernières était de l'ordre de 40 francs le kilo, ou pour une année à faible rendement qui diminuera de moitié ou plus le ramassage d'une ouvrière pour les olives de confiserie, le seul coût de cette opération supprimera toute rentabilité de la culture de l'olivier. L'agriculteur pour réduire ses frais supprime ses fumures, les récoltes baissent rapidement et deviennent irrégulières. Au facteur affaiblissement de la production s'ajoute celui de l'irrégularité et l'on conçoit que l'agriculteur ensuite abandonne ses vergers.

Non seulement le ramassage mais la taille indispensable annuellement sur des arbres en pleine production, dont on attend des récoltes à la fois abondantes et régulières, est une opération longue et coûteuse.

2. — TRAITEMENTS ANTIPARASITAIRES.

Les traitements antiparasitaires qu'il est indispensable d'effectuer régulièrement, si l'on veut parler de culture intensive, sont d'autant plus coûteux et délicats à effectuer que les arbres sont plus hauts.

Un seul élément paraît plaider en faveur de la charpente élevée : le cheval peut passer au voisinage immédiat du tronc. En fait l'inconvénient des charpentes basses nécessitant le travail à la main sous la ramure n'existe plus depuis qu'il a été créé des outils déportés latéralement.

On peut sans crainte de grande erreur estimer que la seule présence de la partie dénudée de la charpente augmente de 50 p. 100 au moins les frais d'exploitation examinés ci-dessus.

En résumé il nous semble qu'on soit autorisé à dire que dans la zone française de l'olivier, le climat d'une part, la biologie, la physiologie, les parasites de l'olivier d'autre part, ne sont pas favorables à la conduite de l'olivier ayant pour base :

— l'obtention d'une charpente comportant un tronc assez élevé,

— la suppression d'une partie importante du feuillage dans les premières années de l'arbre

— la permanence de la charpente.

III. — CONDUITE « BASSE TIGE LIBRE » D'UNE OLIVAIE EXPÉRIMENTALE

A. — Conditions de l'expérience.

Tenant compte des considérations ci-dessus et des résultats que nous avons obtenus antérieurement dans nos recherches sur la physiologie de l'alimentation de l'olivier, nous avons décidé, sur les indications de M. le Professeur MAUME, Directeur du Laboratoire de recherches de Biochimie végétale de l'E. N. A. M., de créer un petit verger expérimental (photo nº 4) sur les terrains de la Station où seraient mises à l'épreuve nos diverses conceptions résumées ci-dessous, à savoir :

— Rôle néfaste de la taille dans les premières années.

— Établissement d'une charpente en « Basse Tige Libre ».

— Suppression des tailles inconsidérées et irrationnelles.

— Recherche de la meilleure fumure.

Les variétés utilisées étaient :

La Picholine. — variété très cultivée dans le Languedoc pour la confiserie ; à port naturel en boule, à fructification homogène sur toute la charpente et régulière.

La Lucque. — variété particulièrement appréciée mais de fructi-

fication très capricieuse sans cause connue, de mise à fruit moins précoce que la précédente.

l'*Arbequine*. — variété d'huilerie espagnole que s'est montrée une des plus productives à la Station d'Oléotechnie (C. R. A. M.), de fructification particulière, abondante et régulière ; aux fruits riches en huile.

Le terrain est un sol argilo-calcaire de teneur très moyenne aussi bien en Potasse (1) qu'en Acide phosphorique assimilables. Par ailleurs, le sous-sol comporte, parfois, à très peu de distance de la surface (30-40 cm) une épaisse concrétion calcaire (90 p. 100 de CO_3Ca) qui empêche plus ou moins la pénétration des pluies hivernales malgré les façons aratoires assez profondes.

Ces indications sont données notamment pour souligner que les résultats obtenus ne sont pas dus à des conditions particulières de terrain ni même à des soins culturaux extraordinaires, ceux-ci s'étant bornés à deux labours annuels (entrée et sortie de l'hiver) et un grattage superficiel pendant la période sèche.

Les sujets mis en terre étaient des plants greffes de deux ans sur sauvageons de semis, en provenance du Service d'Oléotechnie du Centre de Recherches Agronomiques du Midi. La plantation fut faite dans des trous d'environ 1m × 1 m × 0,70 et à un écartement de 5 m en carré.

Durant toute la durée de l'expérience (malheureusement interrompue par les graves dégâts dus aux gelées de février 1956), les arbres n'ont subi aucune taille. Rabattus à la plantation à 25-30 cm au-dessus du sol, ils ont très rapidement pris une forme basse tige « buissonnante ».

Cette façon de conduire nos arbres, tout au moins durant les premières années de leur vie, a présenté par ailleurs les avantages prévus quant à la constitution très rapide de réserves permettant une mise à fruit précoce (2).

Elle est en effet évidente si l'on jette un regard sur les quelques chiffres suivants :

En 1951, la teneur moyenne des feuilles en éléments fertilisants était pour les Picholines par exemple :

$$N = 2{,}03\ \% \qquad P^2O^5 = 0{,}37\ \% \qquad K^2O = 1{,}05\ \%$$

Ainsi, 5 kilos de bois de taille (brindilles + feuilles) représentent sensiblement les pertes suivantes :

en N, 100 g en P^2O^5, 17 g en K2O, 50 g,

qu'il faudra refournir à l'arbre, au minimum, pour reconstituer cette même charpente soit en SO_4AM_2 à 20 p. 100, 500 g ; en Super à 16,18 p.100,

(1) 0,20 pour mille en K_2O.
0,15 pour mille en P_2O_5.

(2) Voir nos travaux précédents sur la Physiologie de la nutrition parus dans les Annales Agronomiques.

100 g ; en K_2O, 100 g. Si l'on admet des cœfficients d'utilisation de l'ordre de 50 p. 100 pour les engrais azotés — 30 p. 100 pour les engrais phosphatés 40 p. 100 pour les engrais potassiques (ce qui est un maximum en terrain calcaire et pour les olivettes méridionales). Ceci nous amènera à apporter SO_4AM_2, 1 kg ; Super 0,300 kg ; Kcl 0,250 kg pour compenser la perte de 5 kg de bois de taille. Nous n'avons tenu compte ici que des bois, nous n'avons pas envisagé l'exportation due aux récoltes.

Si nous considérons qu'au moment de leur maturité les fruits peuvent être crédités des valeurs suivantes : (en p. 100 de matière sèche) $N = 1$ p. 100, $P_2O_5 = 0{,}30$ p. 100, $K_2O = 1$ p. 100, on touche du doigt l'importance des exportations auxquelles il faudra faire face annuellement.

B. — Résultats de la Fructification.

Trois ans après la plantation c'est-à-dire en 1951 apparaissaient les premiers fruits de la variété Picholine (nous nous contenterons de donner ici les résultats pour cette variété qui nous a paru profiter au mieux de ce genre de conduite).

Depuis cette date, les récoltes ne cessèrent de s'élever très rapidement jusqu'en 1954 inclus, avec des fortunes diverses suivant les essais de fumure qui étaient faits parallèlement.

Le tableau suivant souligne cette augmentation rapide de la production.

TABLEAU I

Années	Production en kg					
	Témoin 1	Fumier	NPK	NK	PK	Témoin 2
1951	0	0,009	0,097	0,072	0,024	0,169
1952	0,300	0,670	1,350	1,790	1,720	1,220
1953	0,316	6,350	10,350	5,000	4,000	0,420
1954	2,500	15,000	16,400	1,900	10,030	3,500

La somme des récoltes pour les six parcelles de l'essai a été en effet ; pour ces 4 premières années :

1951, 0,371 kg. — 1952, 7,030 kg. — 1953, 26,436 kg. — 1954, 48,600 kg.

Mais en 1955, une rétrogradation générale de tous les rendements amenait une récolte globale de 6,150 kg avec les détails suivants :

Année 1955 : 1,040 kg 1,800 kg 1,400 kg 2,500 kg 0,150 kg 0,050 kg.

Nous verrons plus loin les causes probables de cet effrondrement et les leçons que l'on peut en tirer pour la conduite des oliviers en « Basse Tige Libre ».

C. — Essais de Fumure.

Dès la première année de récolte (1951) commençait parallèlement avons-nous dit les essais de fumure. Le tableau précédent nous a montré

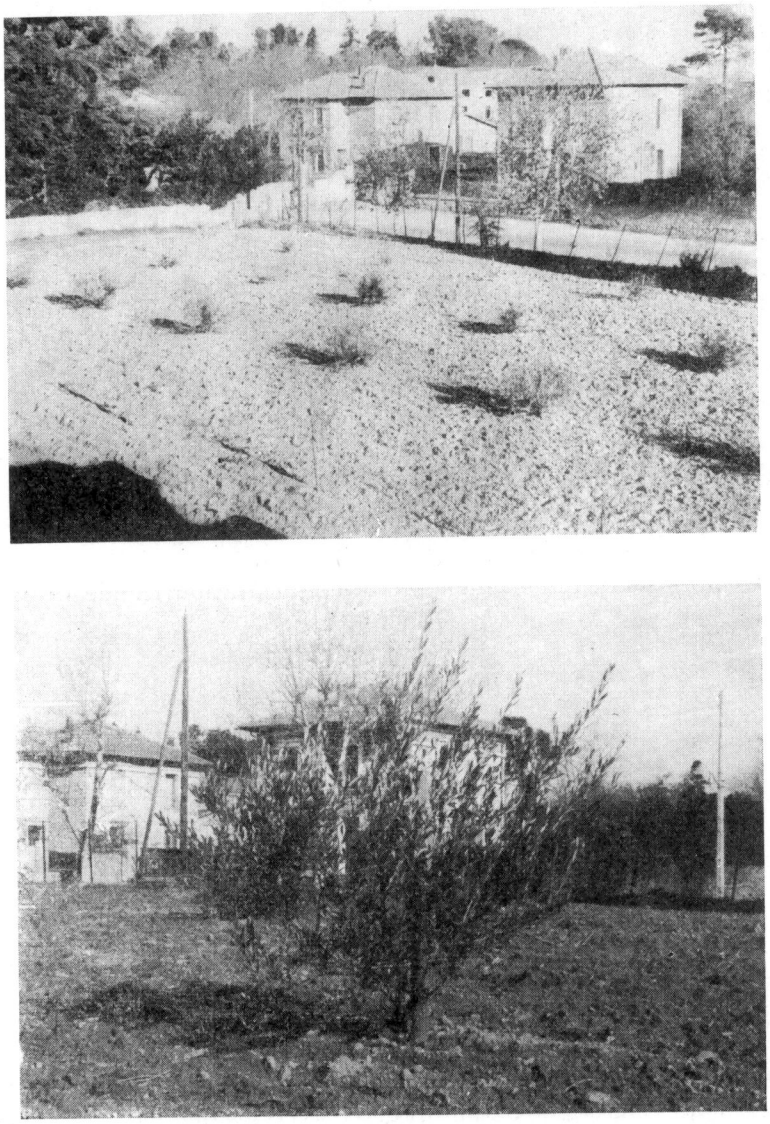


Fig. 4. — Le verger d'expérience et un arbre, en 1951.

les parcelles qui avaient été mises en expérience. L'exiguité de notre terrain ne nous permettait pas de multiplier davantage ces essais.

En 1951, étant donné le développement encore faible de nos arbres

(voir photo) les quantités d'éléments fertilisants apportés furent faibles pour éviter le risque de brûlure. Comme chaque année par la suite les fumures étaient enfouies à la barre à mine à environ 30-40 cm de pro-

Fig. 5. — Le verger d'expérience et un arbre (même olivier que sur la fig. 4), en 1954.

fondeur, à raison de 8 trous par arbres. Au fur et à mesure que la circonférence des arbres augmentait, les trous s'éloignaient du tronc et les fumures s'élevaient, suivant le tableau ci-après.

D'après ces tableaux de rendements, nous voyons que c'est pra-

tiquement au bout de la troisième année (1953) que les différences entre les divers essais de fumure sont particulièrement sensibles. Jusque-là les écarts constatés pouvaient être imputés à la vigueur relative des divers arbres.

TABLEAU II

	Fumure en kg					
Années	Fumier	NPK		NK		PK
1951	10	SO_4AM_2	0,118	SO_4AM_2	0,472	
		Super	0,156			Super 0,624
		Kcl	0,051	Kcl	0,051	Kcl 0,051
1952	20	SO_4AM_2	0,472		1,688	
		Super	0,624			2,496
		Kcl	0,204		0,201	0,204
1953	30	SO_4AM_2	1,700		1,700	
		Super	2,500			2,500
		Kcl	0,400		0,400	0,400
1954	40	SO_4AM_2	3,000		3,000	
		Super	5,000			5,000
		Kcl	1,000		1,000	1,000
1955	40	SO_4AM_2	3,000		3,000	
		Super	5,000			5,000
		Kcl	1,000		1,000	

L'ensemble des résultats que nous venons de décrire s'inscrit dans les courbes de la figure où les rendements sont ramenés d'un côté au rendement en kilog-/hectare (notre système de plantation serrée donnant une densité de quatre cents (400) arbres à l'hectare), de l'autre côté au rendement en huile/hectare en admettant un rendement en huile de nos olives de l'ordre de 20 p. 100. On voit qu'à ce point de vue les maxima atteints en 1954 ont été :

TABLEAU III

Témoin	400 kg huile à l'hectare
NK	180
PK	800
Fumier	1 200
NPK	1 300

C'est là certes un beau résultat si l'on considère que l'une des plantes oléagineuses les plus répandues, le Colza, donne des rendements en bon terrain de l'ordre de 600 kg d'huile à l'hectare. Remarquons la courbe particulière de la fumure NK qui, après une ascension normale et comparable durant 2 ans aux autres courbes, s'est effondrée en 1954 rompant la régularité de l'ensemble du graphique. Nous ne pouvons expliquer cette anomalie que par des dégâts physiologiques et anatomiques de froid qui nous avaient apparemment semblés assez bénins au moment où ils se sont produits.

En 1955 cette courbe paraissait vouloir se redresser et si les gelées de février 1956 n'étaient venues ruiner notre expérience, il est probable que la fumure NK aurait repris sa place de départ entre les fumures au fumier seul et PK.

Dans l'année 1955 on assiste à une chute régulière (NK mis à part) de tous les rendements. A quoi peut-on attribuer ce phénomène, alors que la montée des courbes durant quatre ans nous laissait prévoir des rendements de l'ordre de 30 kg pour la fumure complète. Le diagnostic foliaire effectué au cours des différentes années va nous permettre de donner une explication valable.

D. — Diagnostic foliaire de l'expérience.

Il a été réalisé avec les valeurs obtenues au moment de la floraison, puisqu'aussi bien les valeurs de cette époque sont l'indice d'une bonne nutrition des jeunes fruits en pleine évolution.

Contentons-nous de donner les valeurs moyennes pour les « Picholines » des alimentations globales et des équilibres physiologiques.

	Alimentations globales	Équilibres physiologiques		
		N	P_2O_5	K_2O
1951	3,96 %	61 %	9 %	30 %
1952	4,09 %	50 %	11 %	39 %
1953	3,73 %	59 %	11 %	30 %
1954	3,79 %	48 %	12 %	40 %
1955	3,31 %	43 %	12 %	45 %

Ces chiffres appellent les considérations suivantes :

1) **Alimentation globale.** — Ces valeurs sont en décroissant régulièrement avec de légers à-coups qui masquent un peu le phénomène. Mais si on considère les teneurs en N P_2O_5 et K_2O qui constituent ces alimentations globales on constate alors que P_2O_5 et K_2O restent relativement constants.

	Minimum	Maximum
P_2O_5	0,40 %	0,48 %
K_2O	1,46 %	1,64 %

Les teneurs en azote ne font que décroître pour atteindre une valeur bien au-dessous de la valeur critique.

1951.....	2,02 % de la matière sèche
1952.....	1,99
1953.....	1,84
1954.....	1,78
1955.....	1,46

Nous retrouvons là une nouvelle preuve de l'importance de l'azote dans les phénomènes de floraison et de fructification que nous avons signalés dans nos travaux antérieurs.

2) **Equilibres physiologiques.** — Découlant directement des teneurs qui nous donnaient les alimentations globales ceux-ci nous montrent les variations des points représentatifs du tableau II. (Fig. 6).

En 1951, le point représentatif se trouve en plein dans la zone d'optimum expérimental que nous avons définie précédemment. La

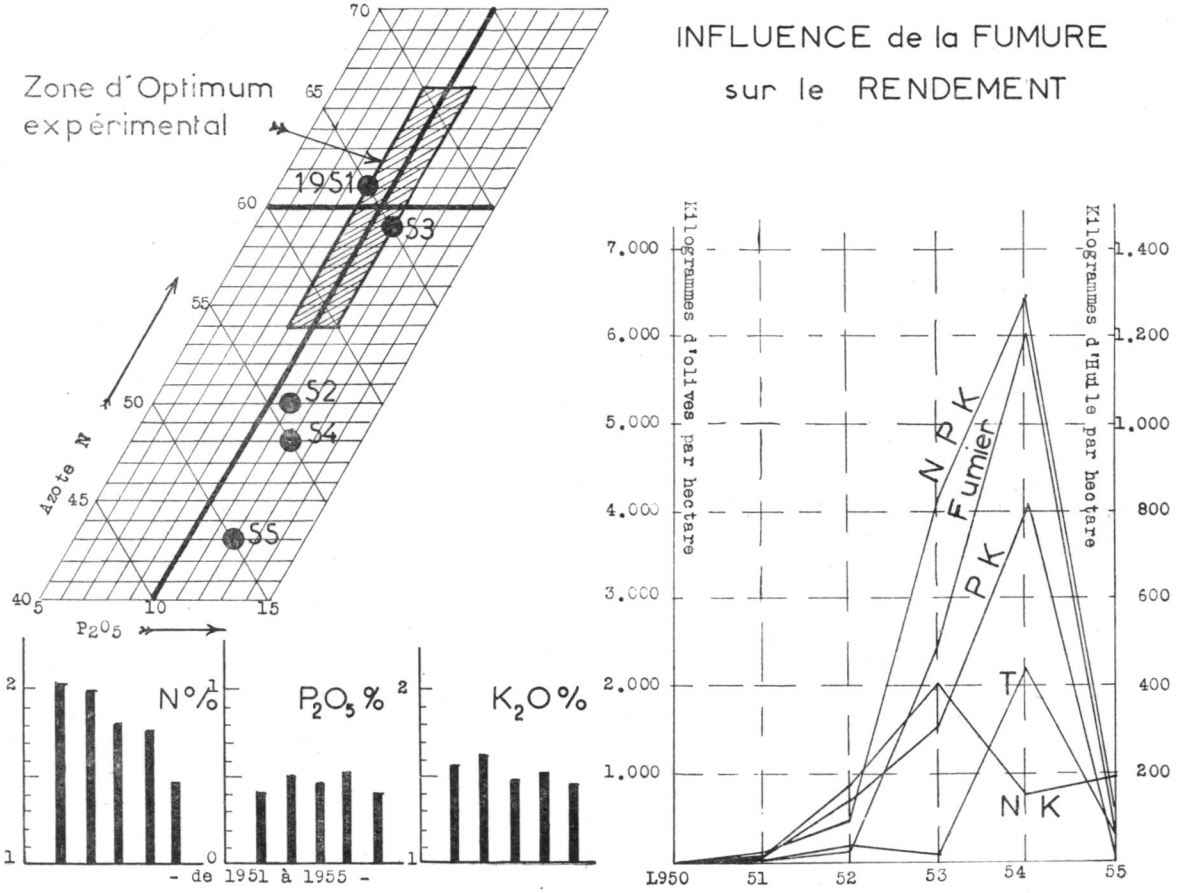

Zone d'Optimum
expérimental
1951
S3
S2
S4
S5
Azote N
P_2O_5
70
65
60
55
50
45
40
5
10
15
N%
P_2O_5 %
K_2O %
- de 1951 à 1955 -
INFLUENCE de la FUMURE
sur le RENDEMENT
Kilogrammes d'olives par hectare
Kilogrammes d'Huile par hectare
7.000
6.000
5.000
4.000
3.000
2.000
1.000
1.400
1.200
1.000
800
600
400
200
N P K
Fumier
P K
T
N K
L950
51
52
53
54
55

FIG. 6.

récolte si faible soit-elle amène à la floraison une descente de ce point représentatif en 1952. Les fumures ont été faibles jusque-là. Le diagnostic nous pousse donc à augmenter des fumures en 1953. Dès lors confirmant ce que les rendements nous ont déjà appris, le point représentatif se relève et vient retrouver la zone d'alimentation optimum. Les rendements très élevés se poursuivent par suite de l'augmentation du système végétatif (photo 1951-1954). Mais parallèlement les réserves de l'arbre diminuent. Celui-ci ne peut subvenir complètement aux besoins végétatifs et aux besoins de fructification et c'est alors l'effondrement de 1955.

C'est ainsi que le diagnostic foliaire peut intervenir pour diriger l'action de l'oléiculteur. Les rendements augmentant toujours (il est inutile de dire qu'il n'en était pas de même en grande culture où les rendements, en partie par suite d'absence de fumure, subissent des hauts et des bas importants) le diagnostic foliaire montre la dangereuse descente de l'azote. Il devenait urgent pour lutter contre cet apauvrissement d'augmenter la fumure azotée, et de diminuer le système végétatif par la taille.

IV. — CONCLUSIONS SUR LE MODE DE CONDUITE EN « BASSE TIGE LIBRE »

Bien que ces essais ne puissent nous permettre de prétendre à une conclusion définitive pour les raisons suivantes : exigüité de nos parcelles d'expérience, trop faible durée de la période d'observation (1948-1956) il nous semble pourtant que nous soyons autorisés à donner les directives suivantes pour la remise en état des olivettes ayant gravement souffert du froid et pour les plantations nouvelles :

A. — Forme de l'Arbre.

Tenant compte des observations mentionnées :

a) le port naturel de l'olivier est buissonnant, toute intervention qui n'en tient pas compte retarde l'équilibre nécessaire à la mise à fruit ;

b) la conjonction des trois facteurs suivants : dégâts assez fréquents dus aux froids, absence presque complète de tissus de cicatrisation, circulation latérale de la sève défectueuse impliquent la nécessité d'avoir un type de charpente qui permette son renouvellement partiel ou total facilement ;

c) l'obligation économique actuelle de réduire au maximum les frais généraux de culture (cueillette, taille, traitements divers).

L'oléiculteur doit, dans les cultures en plein, avoir recours à une forme comparable à celle de notre olivette expérimentale, c'est-à-dire une « *Basse Tige Libre* ».

B. — Diverses Tailles à envisager.

a) *Taille de formation.*

Les résultats auxquels nous sommes arrivés, à savoir notamment la conservation totale des réserves élaborées dans le jeune âge de l'arbre (par la suppression de toute intervention) ce qui permet à la fois un équilibre alimentaire judicieux, une mise à fruit précoce et un développement luxuriant de la végéattion, nous amènent à cette conclusion : Toute taille de formation est supprimée, (les rameaux étant tous laissés et se développant librement).

Mais il est bien évident que cette absence de taille ne peut se poursuivre indéfiniment. A partir de quel moment faut-il intervenir ? Nous regrettons bien vivement que les froids soient venus interrompre cette expérience, ne nous permettant pas ainsi de préciser avec toute la sûreté désirable la réponse à cette question ; mais, les résultats d'observations et le diagnostic foliaire des arbres semblent bien nous avoir montré que nous étions arrivés à cette nécessité dans nos conditions de culture.

b) Taille de production.

Après cette période caractérisée par son absence totale de taille, les premières opérations (et nous pensions les commencer cette année-là) doivent consister d'abord dans la suppression progressive des rameaux (les plus âgés) en surnombre, mal orientés ou traînant à terre. Toute intervention portant directement sur une pousse de moins de trois ans étant à proscrire. Ces opérations diffèrent donc de la taille habituelle par le fait que le coup de sécateur ne porte jamais sur des pousses garnies de feuilles mais uniquement sur des branches plus âgées.

Ultérieurement elle ne doit, à notre avis, être considérée que comme un éclaircissage adapté au mode de fructification de la variété envisagée. Si l'on tient compte de ce mode de fructification, nous ne devons jamais, sauf accident, avoir un développement exagéré du nombre et de la vigueur des gourmands qui absorbent inutilement, (puisqu'ils sont supprimés à chaque taille) la plus grande partie souvent des éléments nutritifs puisés par les racines. Dans une telle situation il est donc préférable, comme nous l'avons déjà montré, de renouveler la charpente. Cette opération est obtenue dans le cas de la conduite en « Basse Tige Libre » en repartant suivant les besoins sur *une ou plusiers* pousses vigoureuses nées au niveau du collet et conduites ainsi que nous l'avons dit précédemment. Elles n'ont pas à être greffées si l'arbre est franc de pied.

Une incision annulaire effectuée aussi près que possible du voisinage du sol permettra de profiter des dernières possibilités fruitières de la charpente à supprimer.

c) *Fumures corrélatives.*

Dans nos recherches antérieures nous avons constaté que seuls les arbres correctement fumés étaient susceptibles d'une production soutenue. Nous en avons un nouvel exemple avec les chiffres que nous venons de citer. Il est bien évident que seul le mode de conduite de l'arbre (Basse Tige Libre) est insuffisant pour améliorer longtemps les rendements. Son action agit dans les premières années sur la précocité et la production.

La comparaison d'arbres de même variété et de même âge, cultivés de la même façon sur des terrains comparables (Station de Biochimie et Station de Bel Air) mais les uns conduits en « Basse Tige Libre » et les autres soumis à la formation habituelle du « gobelet » vient appuyer cette opinion. Mais l'intervention d'une fumure appropriée montre bien toute son importance sur la production.

Production totale (en kg) pour la Période 1951-1954 *d'arbres.*

Basse tige libre		« Gobelet » sur tronc de 1 m
Sans fumure	Fumure complète	sans fumure
3	28 100	0,420

A cette différence de production correspond aussi une différence de poids de la charpente. Les gelées nous ayant obligés à sectionner les arbres au niveau du sol, les pesées des différents lots nous ont donné les valeurs suivantes :

	kg	
Station de Bel		
Témoin	7	
Station de Chimie		
Témoin	18	Bois sec
Fumier	29	
Fumure complète	29,5	
Fumure NK	29,5	
Fumure PK	22,5	

L'objection que l'on nous a fait au sujet de cette conduite immédiatement intensive est que le poids de l'olive peut s'en trouver fortement diminué. Cette remarque aurait sa valeur surtout pour la production d'olives de table. Il n'en est heureusement rien. La différence observée entre le poids à l'unité des fruits est de même ordre que celle vue plus haut pour la production totale. Elle est toujours en faveur des oliviers fumés (1/3 à 1/2 en plus) sans pour cela être toujours aussi élevée que durant l'année 1952 où l'on a noté les pesées suivantes, moyenne à l'unité :

Témoin	1,900 g
Fumure azotée NPK	4,900 g
Fumure phosphatée PK	3,200 g

Pour terminer, insistons sur le fait que les récoltes obtenues proviennent de la mise en jeu des deux facteurs : *Basse Tige Libre* et *Fumure rationnelle*. Dans nos essais il nous semble que le premier a eu surtout pour effet la précocité et l'abondance de la fructification et que le deuxième, tout en agissant fortement sur l'abondance, s'est fait également sentir sur la régularité des récoltes.

V. — CONCLUSIONS GENERALES

Dans les circonstances actuelles de l'oléiculture en France la conduite en « Basse Tige Libre » doit permettre sans aucun doute le retour à l'état de fructification le plus rapide des arbres très touchés par les froids de février 1956. Mais nous sommes certains qu'elle constitue également pour le plus grand nombre de nos oliviers la méthode de choix pour leur remise en bon état cultural. Il est en effet bien reconnu que presque tous, par suite des accidents nombreux qu'ils ont subis au cours des temps, bénéficieraient grandement du renouvellement de leur charpente. Mais il est bien entendu que les avantages qu'on peut escompter ne peuvent se faire sentir pleinement que si une fumure rationnelle est parallèlement appliquée.

Pour les plantations nouvelles elle constitue sans aucun doute la méthode permettant la mise à fruit la plus rapide.

RÉSUMÉ

Les auteurs donnent tout d'abord une vue d'ensemble sur la formation habituelle de la charpente des oliviers du verger français. Après des critiques générales sur ces méthodes de formation, les auteurs étudient la conduite « basse tige libre » d'une olivaie expérimentale et ils concluent que dans les circonstances actuelles de l'oléiculture en France la conduite en « Basse tige libre » doit permettre sans aucun doute le retour à l'état de fructification le plus rapide des arbres très touchés par les froids de février 1956. Cette méthode constitue également pour le plus grand nombre de nos oliviers la méthode de choix pour leur remise en bon état culturel.

Il est en effet bien reconnu que presque tous bénéficieraient grandement du renouvellement de leur charpente.

Mais il est bien entendu que les avantages qu'on peut escompter ne peuvent se faire sentir pleinement que si une fumure rationnelle est parallèlement appliquée.

Pour les plantations nouvelles elle constitue sans aucun doute la méthode permettant la mise à fruit la plus rapide.

SUMMARY

Study of the physiology of the nutrition of the olive tree (Fifth report).

The usual formation of timber in olive trees of French stock is briefly discussed. The methods used for the formation are critically reviewed and

a study is made of the conduct of « low-free stem » in an experimental olive plantation. It is suggested that under the present conditions of olive cultivation in France the conduct of « low free-stem » is the most rapid means of restoring the productivity of trees severely affected during the frost in February 1956. This method is also the best way to restore the good cultural condition of most of the olive plantations in France.

It is recognised that almost all plantations would greatly benefit from the rejuvenation of the timber. But the advantages to be obtained will fully develop only if a judicious fertilizing is simultaneously applied. The method is the most suitable means to induce an early bearing in new plantations.

Исследование физиологии питания оливкового дерева.

(Пятая часть)

А. БУА, П. РЕНО и Ж. ДЮЛЯК.
Агрономическая высшая Школа, Монпэлье.

РЕЗЮМЭ

Сначала авторы дают общее понятие об обычном формировании ствола и веток оливковых деревьев во французских садах. После общей критики этих методов формирования, авторы изучают поведение формы «низкий ствол свободный» на одной опытной станции, и они приходят к заключению, что при теперешнем положении олеикультуры во ФРАНЦИИ ведение в виде «низкого свободного ствола» должно без всякого сомнения позволить самое быстрое восстановление плодоношения деревьев сильно пострадавших от холода в феврале 1956 г. Равным образом, этот метод является избранным для большинства наших оливковых деревьев для их приведения в хорошее культурное состояние.

В самом деле, хорошо признано, что обновление ствола для большинства из них было бы очень полезно.

Но само собой разумеется, что польза, на которую можно рассчитывать почувствуется полностью только в том случае, когда одновременно применено хорошо обдуманное удобрение.

Для новых насаждений этот метод без всякого сомнения позволит получить наиболее быстрое плодоношение.

ZUSAMMENFASSUNG

Untersuchung der Ernährungsphysiologie des Olivenbaumes (5. Denkschrift).

Die Autoren geben zuerst einen allgemeinen Überblick auf die gewönhliche Ausbildung der Baumform der Olivenbäume in Frankreich. Nach allgemeinen kritischen Bemerkungen zu diesen Aufbaumethoden, untersuchen die Autoren den Aufbau als « freier Niederstamm » eines experimentellen Olivengartens und sie kommen zur Folgerung, dass, in dem heutigen Stand des französischen Olivenanbaues, der Aufbau als « freier Niederstamm » das schnellste Fruchttragen der durch die Fröste von Februar 1956 getroffenen Bäume erlauben würde. Diese Methode stellt auch für die meisten unserer Olivenbäume die beste Methode dar um einen guten Kulturzustand wieder herzustellen.

Dass eine Erneuerung der Baumform vorteilhaft für fast alle Bäume wäre, wird wirklich anerkannt.

Aber es versteht sich, dass die erhofften Vorteile nur dann sich ganz verwicklichen können, wenn gleichzeitig eine rationelle Düngung verabreicht wird.

Für neue Pflanzungen ist zweifellos diese Methode die welche das schnellste Fruchttragen erlaubt.

LES SOLS DE LA RÉGION DE GOURIN (MORBIHAN)

PAR

M. COPPENET et Mme M. HELIAS

Station d'Agronomie, Quimper.

PLAN DU MÉMOIRE

Introduction.

Situation
Substratum géologique.
Topographie et hydrographie.
Données climatiques.

I. — Etude pédologique :

1° Les sols des zones granulitiques.
2° Les sols sur schistes de Saint-Lô.
3° Les sols des dépressions tertiaires.
4° Les sols des auréoles métamorphiques.
5° Les sols sur cailloutis et poudingues de Gourin.
6° Les sols sur grès armoricains.

II. — Etude agronomique :

1° Régions granitiques :
a) données physiques ;
b) données chimiques ;
c) conclusions pratiques.
2° Régions schisteuses :
a) données physiques ;
b) données chimiques ;
c) conclusions pratiques.
Sols des régions hydromorphes.
Sols des podzols sur cailloutis.

Résumé et Conclusions.

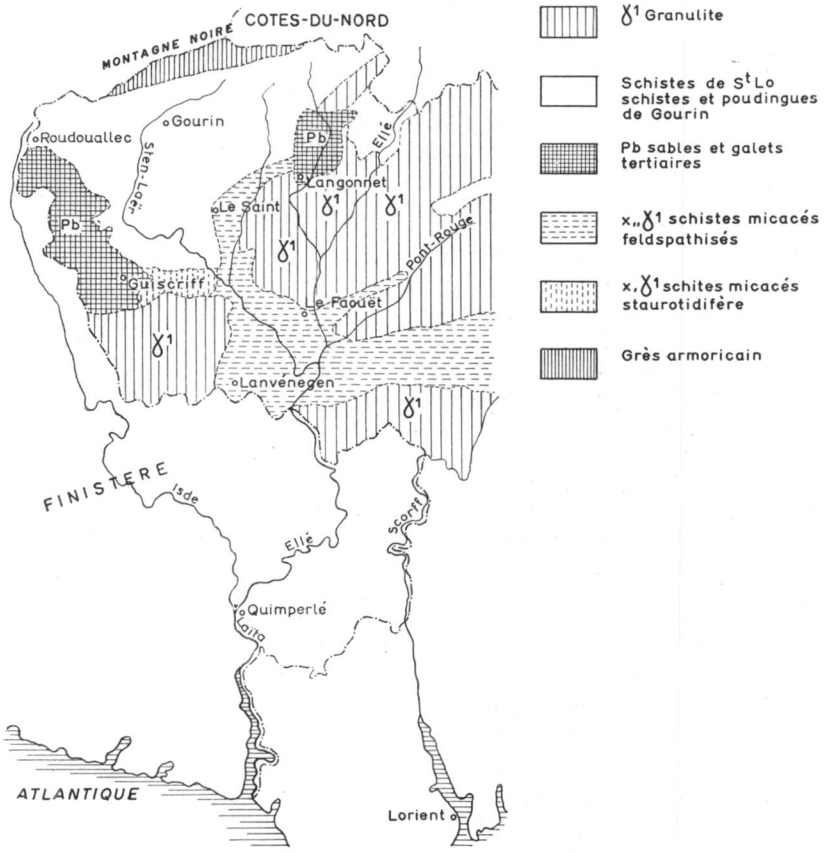
Bibliographie.

INTRODUCTION

Situation

Les limites nord-ouest du département du Morbihan s'enfoncent assez profondément vers le Finistère en y formant une proéminence mesurant approximativement 25 km d'est en ouest et 20 km du nord au sud. La zone étudiée correspond grosso modo à ce territoire comme

l'indique la carte de situation (carte nº 1). Les limites administratives peuvent être considérées également comme des limites naturelles pour le nord et une partie de l'ouest ; au nord, en effet, la barre schistogréseuse de la Montagne Noire sépare le Morbihan des Côtes-du-Nord et à l'ouest



CARTE 1.

Carte de situation.

la zone plate et basse des sables tertiaires le sépare du Finistère, tout en débordant sur le territoire de ce département.

La région étudiée ici correspond à l'extrémité occidentale de la « Région du nord du Morbihan » telle qu'elle a été définie par J. KUNTZ dans sa Monographie agricole du département (1). Les communes intéressées sont : Gourin (chef-lieu de canton), Le Faouet (chef-lieu de canton), Roudouallec, Guiscriff, Le Saint, Lanvenegen et Langonnet.

Substratum géologique

Nous distinguerons essentiellement : deux massifs granulitiques entourés de zones métamorphiques d'une certaine importance, puis des roches sédimentaires avec une importante superficie constituée par les schistes de Saint-Lô, enfin, les cailloutis et poudingues de Gourin, les sables et galets tertiaires des dépressions et la barre gréseuse de la Montagne Noire.

1° **Massifs granulitiques**. — Nous avons affaire au massif granulitique de Le Faouët-Langonnet qui est la partie occidentale du massif s'étendant jusqu'à Guéméné-sur-Scorff et Langoëlan, puis à la grande traînée de granulite allant de Quimper vers Baud et Pontivy, représentée ici de part et d'autre de Lanvénégen. Toutes les régions granitoïdes présentent une très bonne constance et unité de roche-mère ; la granulite se présente, en général, avec une structure non feuilletée, grenue, grossière avec de gros grains de quartz. De belles pierres de taille sont exploitées dans certaines carrières.

2° **Schistes briovériens** (zone blanche sur la carte n° 1). — Il s'agit, en grande partie, des schistes et phyllades de Saint-Lô ; schistes argileux bleu-grisâtre ou noir-verdâtre, très fins, quelquefois rougeâtres et souvent transformés par les agents atmosphériques en une argile bleu-clair. Ils alternent avec de nombreux filons de quartz. A l'est de Gourin, on rencontre fréquemment les schistes et poudingues de Gourin. Les petits galets de quartz sont cimentés dans une pâte peu cohérente et peuvent d'ailleurs se rencontrer sous forme de cailloutis comme nous l'avons observé aux Stations n° 41 *b*, 43, 86 et 85 de la carte n° 2.

3° **Sables et galets tertiaires**. — Cette formation très mal définie se rencontre entre Roudouallec et Guiscriff d'une part, ainsi qu'au nord de Langonnet d'autre part (lande de Kérivoal). Elle est formée d'éléments fins entraînés dans les dépressions et provenant des massifs voisins. Une caractéristique importante réside en la présence d'un plan d'eau à faible profondeur ; les points culminants de ces zones, définies par la carte géologique, sont d'ailleurs constitués par des affleurements de schistes micacés.

4° **Grès armoricain** (Ordovicien inférieur). — Il constitue l'épine dorsale de la chaîne montagneuse limitant au nord la région étudiée mais est très peu représenté.

5° **Auréoles métamorphiques**. — On distingue deux zones (voir carte n° 1).

a) Les schistes micacés et feldspathisés (x_{11}, γ^1) formés de granules de quartz cimentés par des feuillets de micas. Plus près de la granulite, le feldspath se trouve associé au quartz et à la muscovite pour donner des gneiss.

b) Les schistes micacés staurotidifères (x, γ_1) formés essentiellement de staurotide, quartz, mica noir, graphite. (Est de Guiscriff).

De cette énumération, les deux types les plus importants par la surface qu'ils occupent sont les deux premiers : granulite et schistes. Ce sont les deux types principaux mis en opposition au cours de la cartographie des sols de la commune de Loguivy-Plougras (C.-du-N.) (2), et qui nous permettrons d'extrapoler à diverses régions bretonnes où les roches, granitiques d'une part et schisteuses de l'autre, sont dominantes.

Topographie et hydrographie

La chaîne gréseuse de la montagne Noire (photo nº 1) dont les sommets dépassent exceptionnellement l'altitude 300 m constitue la

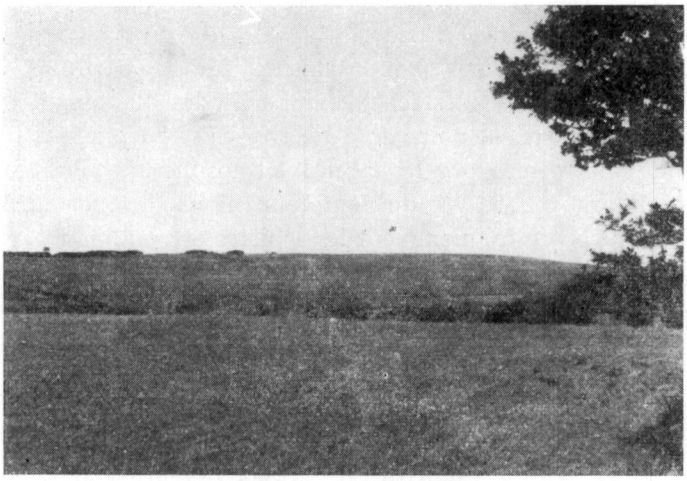


PHOTO 1. — Vue sur la chaîne de la montagne Noire.
Sommets gréseux occupés par la lande à éricacées.

ligne de partage des eaux entre la dépression centrale du bassin carbonifère de Chateaulin et la pénéplaine Sud allant jusqu'à l'Atlantique. Elle domine d'une centaine de mètres la région qui s'étend à ses pieds et qui constitue assez exactement le bassin de l'Ellé (voir carte nº 1). L'Isole sépare le Finistère du Morbihan sur une partie de son cours supérieur et se réunit à l'Ellé à Quimperlé pour se jeter dans l'Océan par l'estuaire pittoresque de la Laïta.

L'Ellé prend naissance dans les Côtes-du-Nord et draine la région étudiée ici, en recevant essentiellement la rivière de Langonnet, le Pont-Rouge et le Ster-Laër. Toutes ces rivières et ruisseaux de moindre impor-

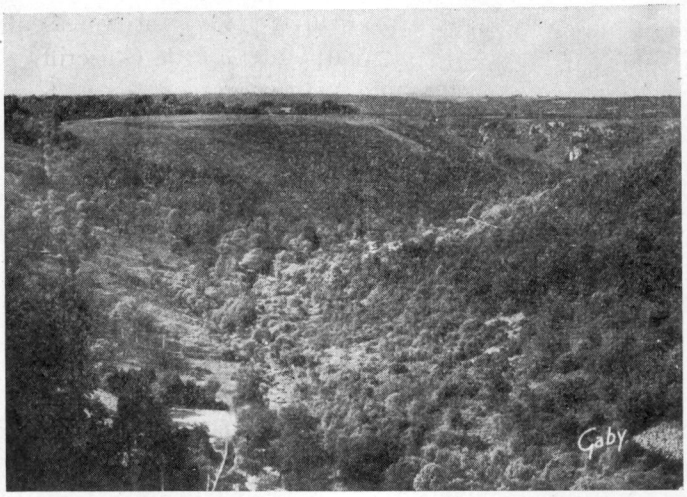


PHOTO 2. — La vallée de l'Ellé entaillant profondément le massif granulitique au Nord du Faouët.

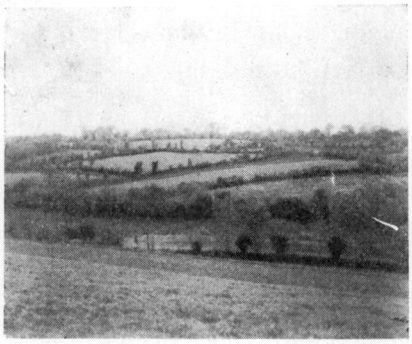


PHOTO 3. — Paysage agricole typique sur schistes au Sud de Gourin.

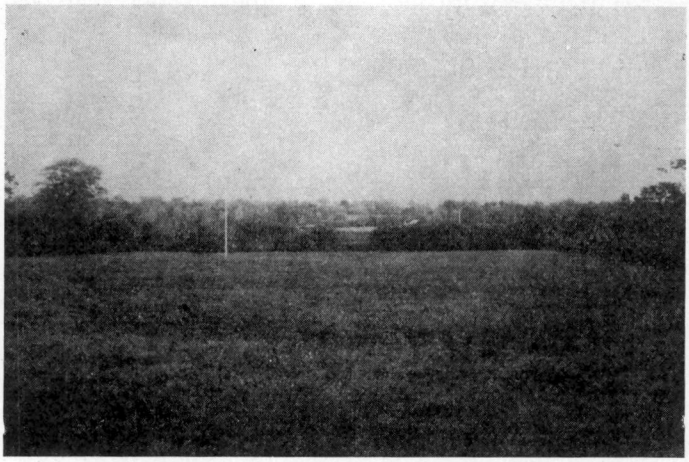


PHOTO 4. — Régions hydromorphes plates et basses des dépressions tertiaires près de Roudouallec.

tance entaillent profondément le substratum en donnant des dénivellations de plusieurs dizaines de mètres.

La photo n° 2 montre la vallée de l'Ellé, très encaissée dans le massif granulitique au nord du Faouët. En région schisteuse, où la roche est plus tendre, les formes sont, en général, plus atténuées ; voir un paysage agricole typique sur schistes au sud de Gourin (photo n° 3). Les massifs granitiques surplombent de 30 à 40 mètres les zones schisteuses où les dépressions tertiaires qui les entourent ; ces dernières régions très plates contrastent avec le relief breton habituel (photo n° 4).

Données climatiques

Gourin, situé près de la limite nord de la zone étudiée, est à peine à 40 km de la côte atlantique ; l'influence océanique y est encore très marquée, bien que les hivers y soient beaucoup plus froids que sur la région côtière.

Les chutes de pluie sont abondantes et l'on peut considérer la région de Gourin comme comprise dans la zone 800 à 900 mm. Les moyennes de 50 ans (1851-1900) données dans la monographie agricole du Morbihan (1) sont les suivantes :

Le Faouët, 873 mm,

Gourin, 865 mm en 160 jours de pluie.

En hiver, la température moyenne oscille entre + 5° et + 6° ; en été, cette température moyenne dépasse à peine 17°.

La température moyenne annuelle est de 11°4 pour Pontivy situé un peu plus à l'Est.

En prenant comme chiffres moyens

$P = 850$ mm (chutes de pluie annuelles),

$T = 11°4$ (température moyenne annuelle) nous pouvons calculer les indices climatiques ci-dessous :

Coefficient de Lang $P/T = 74,5$.

Indice d'aridité de de MARTONNE $= \dfrac{P}{T + 10} = 39,7$ qui soulignent le caractère atlantique du climat.

L'indice de drainage de HÉNIN $= \dfrac{\gamma P^3}{1 + \gamma P^2} = 0,268$ mètre, le coefficient $\gamma = \dfrac{1}{0,15\,T - 0,13}$ étant égal à 0,633.

Le calcul effectué pour la commune de Loguivy-Plougras (C.-du-N.) située à une vingtaine de kilomètres de la côte de la Manche, mais à la même longitude que Gourin, donnait 295 mm d'eau drainante par cette même formule (2).

Les cases lysimétriques de la Station de Quimper (P. BOISCHOT (3)) ont donné comme drainage mesuré, pour les cases cultivées, une moyenne

de 300 mm environ de 1942 à 1952, et ceci pour une pluviométrie moyenne de 950 mm. Certaines années le drainage a dépassé 500 mm.

Du point de vue pédologique, nous sommes donc théoriquement dans la zone des sols podzoliques ; le chiffre d'eau drainante est élevé et correspond aussi à des sols podzoliques et podzols dominants (supérieur à 185 mm).

Si nous corrigeons l'eau drainante de HÉNIN par les coefficients proposés par G. AUBERT, nous arrivons aux ordres de grandeur suivants :

150 mm pour les argiles et 400 mm pour les sables, ce qui montre bien les différences que la nature de la roche-mère est susceptible d'imprimer à l'évolution des sols.

Nous verrons d'ailleurs, au cours de l'étude pédologique, que ces chiffres ne peuvent donner autre chose qu'une tendance générale de l'évolution et que dans la petite région étudiée ci-dessous nous trouverons, suivant le matériau originel, des sols bruns ou des podzols typiques.

I. — ÉTUDE PÉDOLOGIQUE

Nous effectuerons cette étude en tenant compte des principales régions géologiques rencontrées, car la roche mère a ici une influence prépondérante sur le type de sol. Nous aurons à examiner, par ordre d'importance décroissante des superficies intéressées :

1° les sols des zones granulitiques,
2° les sols sur schistes de Saint-Lô,
3° les sols des dépressions tertiaires,
4° les sols des auréoles métamorphiques,
5° les sols sur cailloutis et poudingues de Gourin,
6° les sols sur grès armoricains.

1. Les sols des zones granulitiques

Les variations de la topographie et de la qualité pétrographique font que la roche mère se présente tantôt comme un limon de colluvionnement en bas de pente, tantôt comme une arène granitique plus ou moins profonde, tantôt comme une roche très dure qui affleure à la surface du sol.

La composition granulométrique moyenne est la suivante, pour 23 échantillons de la couche superficielle de champs cultivés (0 à 30 cm).

Terre fine	Argile	Limon	Sables fins	Sables grossier	Mat. organ. totales par perte au feu
79,8 %	14,8 %	20,8 %	32,2 %	21,0 %	8,5 %

Les analyses ont été effectuées selon la méthode internationale et les chiffres sont exprimés en p. 100 de terre fine séchée à l'air. Les caractéristiques essentielles se dégageant de ces moyennes sont :

— faible teneur en argile, moins de 15 p. 100 ;

— forte proportion de sables grossiers (0,2 à 2 mm) ;

— forte proportion de graviers supérieurs à 2 mm, soit une faible proportion de terre fine ;

— forte proportion de matières organiques totales.

La structure de ces sols est très faible, les agriculteurs les appellent d'ailleurs des « terres légères ». A défaut de mesures plus précises, nous pouvons dire qu'ils seront très filtrants grâce à leur très forte proportion d'éléments grossiers. Faisons remarquer la très bonne constance de cette granulométrie qui se retrouve aussi bien pour les limons de colluvionnement que pour les alluvions des fonds de vallée et ceci, en particulier, pour la proportion de sables grossiers. (Voir à la fin de la présente étude les analyses physiques des principales stations étudiées).

Examinons, à présent, quelques profils.

a) **Sols d'humus brut sur la granulite compacte.**

Ces sols se rencontrent sur les dômes granulitiques ou sur les plateaux partout où la roche compacte est présente à moins de 30 ou 40 cm de profondeur. L'humus grossier acide (type Mor) s'accumule sous la lande ou la forêt dégradée pour donner un horizon A très noir reposant directement sur la roche mère. Sous culture, on peut trouver ce type dans les situations les moins privilégiées ; l'humus a évolué, son rapport C/N s'est abaissé, mais le sol est léger, caillouteux, très mince donc de faible productivité. Les photos nº 5 et 6 illustrent ce type de sol.

D'après le projet de classification de G. AUBERT et Ph. DUCHAUFOUR (4), ces sols seraient de la classe II, Rankers à profil AC, groupe des Rankers d'érosion à humus brut.

Dans certains cas, sous forêt exploitée en taillis mixte ou sous lande à éricacées, il apparaît à la base de l'horizon A_1 un horizon A_2 à tendance cendreuse, plus clair que A_1. Cet horizon peut ne pas être continu, ni très épais ; il est souvent constitué par de simples petites poches cendreuses témoignant d'une action chimique podzolisante de l'humus acide. Dans ce dernier cas, le sol pourrait rentrer alors dans la classe V, sols évolués à humus brut groupe podzolique avec A_2 cendreux (sans B) soit un sol humo-cendreux ou un podzol-ranker.

b) **Granulite compacte à une profondeur d'au moins 80 cm.**

C'est le cas d'une carrière située près du village Le Lobau en Guiscriff, en bordure de la D. 108. (Station 79 de la carte nº 2). Il s'agit d'un

sol cultivé en pente faible mais en bordure d'une petite vallée ; le trèfle violet était même assez beau en septembre 1957. Le profil est le suivant :

0-30 : horizon A^1 très noir, toucher limoneux, Rapport C/N = 15,
30-80 : horizon beige clair sans structure,
Au-delà de 80, la granulite tabulaire compacte (voir la photo nº 7).

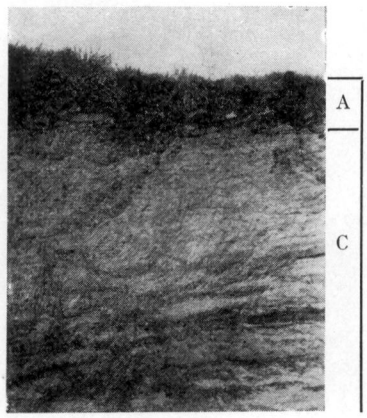


PHOTO 5. — Sol d'humus brut sur granulite compacte.

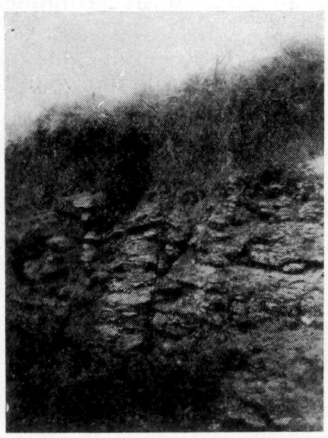


PHOTO 6. — Station 37. Sol à profil AC sur granulite compacte.

Voici l'analyse mécanique de ces deux horizons :

	Argile	Limon	Sables fins	Sables grossiers	Terre fine	Mat. organ.	pH
	—	—	—	—	—	—	—
0–30	16,5	20,4	37,2	16,0	96	6,6	4,65
30–80	11,25	22,4	35,0	24,25	85,5	4,0	4,8

Nous avons affaire à un humus de type Mor modifié par la culture, l'échantillon ayant été prélevé sur le front de carrière, le pH de l'horizon A n'a pas été relevé par les amendements calcaires ayant sûrement été épandus sur le champ ; le pH est ici, sous l'influence de la matière organique, plus faible que le pH de l'horizon minéral sous-jacent. On ne voit pas d'accumulation ferrique et la structure de l'horizon 30-80 rappelle un A_2, ce qui laisserait supposer la possibilité d'un lessivage oblique ou d'un lessivage vers certaines diaclases de la roche.

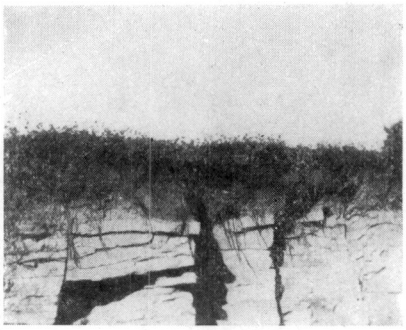


PHOTO 7. — Station 79. Sol cultivé sur granulite compacte n'apparaissant qu'à 80 cm.

c) **Sols sur arène profonde.**

Un bel exemple peut être examiné dans une ancienne carrière de sable à Restalgon, en bordure de la N-169 à 2 km au nord du Fauët (Station 11).

Description du profil :

0-30 : A_1 cet horizon a dû subir la culture il y a un nombre inconnu d'années. Actuellement il est en prairie ; sa couleur est noire nettement délimitée vers la base ; structure faible, nombreux éléments minéraux non enrobés et nombreux graviers de plus de 2 mm. Rapport C/N = 17.

30-40 : A_2 zone beige-clair qui n'existe pas d'une façon continue sur tout le front de carrière. Par endroit, on passe sans transition de l'horizon $\mathbf{A_1}$ à l'horizon B ci-dessous.

40-60 : couleur rougeâtre, nettement enrichi par le fer, très gravelleux et dur.

> 60 : C-roche mère, soit l'arène granulitique de couleur claire, blanc-grisâtre. Cette arène est grossière puisqu'il y a 32,6 p. 100 de refus au tamis de 2 mm. Voir photo nº 8.

Résultats des analyses.

	Argile	Limon	Sables fins	Sables grossiers	Terre fine	Mat. organ.	pH
	—	—	—	—	—	—	—
A_1	15,75	21,0	29,2	25,5	81,4	6,0	5,1
B	12,25	22,0	36,7	20,75	75,0	5,0	5,2
C	10,0	18,5	48,85	17,6	67,4	3,9	4,8

Si les analyses ne mettent pas en évidence un lessivage de l'argile, le rapport Carbone sur Azote très élevé ainsi que le très net horizon d'accumulation ferrique et la présence d'un horizon A_2, nous autorisent

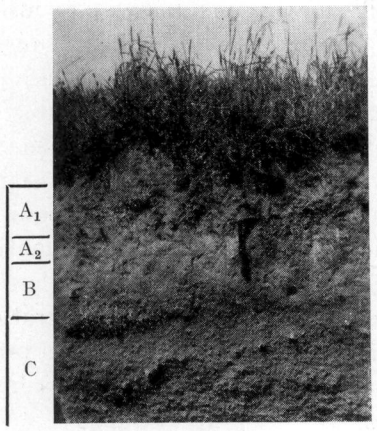


PHOTO 8. — Station 11. Sol podzolique sur arène granulitique profonde.

à classer ce sol dans la classe V des sols évolués à profil A B C à humus brut, groupe podzolique. Sous-groupe des sols podzoliques.

d) **Sols sous forêt.**

Près de l'Abbaye de Langonnet, on peut observer sous végétation mixte de chênes, châtaigniers, résineux avec sous-bois de myrtilles, le profil ci-dessous :

— Horizon A_0A_1 très noir d'humus type Mor de 10 à 15 cm d'épaisseur.

— A la base de cet horizon, on distingue une petite zone plus claire d'aspect cendreux (2 à 3 cm d'épaisseur), qui constitue en somme l'horizon A_2.

— Une zone ferrugineuse de 15 à 20 cm d'épaisseur représentant une très forte individualisation et migration d'oxydes ferriques.

— La roche mère constituée par l'arène ou le granite plus ou moins altéré.

Nous pensons que l'importance de la zone cendreuse A_2 est trop faible pour classer le sol dans le sous-groupe des podzols ferrugineux et qu'il convient de le laisser dans le sous-groupe : sols podzoliques.

En résumé, sur la granulite, nous rencontrons des sols du type podzolique car la présence d'un humus très acide type Mor (pH voisin de 4, rapport C/N d'au moins 20 ou 25) est constante. L'acidité minérale des produits d'altération de la roche ne donnant que des pH d'environ 4,8.

La production de cet humus est, sous le climat très océanique de la région, indépendante de la nature de la végétation et nous la rencontrons aussi bien sous feuillus que sous résineux ou sous lande à éricacées et ajoncs. A la base de l'horizon humifère A_1, on observe souvent une petite zone très mince ou simplement des taches d'aspect cendreux, qui sont le témoin de l'action chimique podzolisante. Le phénomène de lesssivage qui précède théoriquement le phénomène de podzolisation n'est pas toujours très visible en ce qui concerne l'argile mais il ne faut pas oublier qu'en Bretagne nous avons une topographie marquée qui a donné lieu à des phénomènes d'érosion et la formation de sols jeunes sur éboulis, sans perdre de vue la possibilité du lessivage oblique. La libération d'oxydes de fer libres ainsi que leur migration à une certaine profondeur est par contre toujours observée sur les profils.

Nous n'avons pas rencontré de vrais podzols avec horizon A_2 cendreux important sur granulite.

2. Les sols sur schistes de Saint-Lô

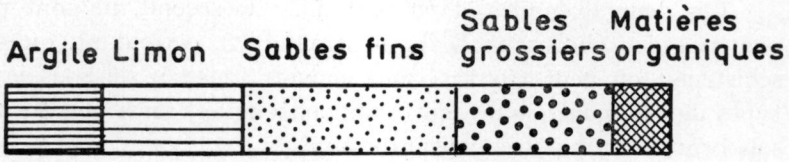
Au point de vue composition granulométrique, nous allons enregistrer des variations notables par rapport aux terres granitiques. Voici les moyennes concernant 25 échantillons de la couche arable de champs cultivés (0 à 30 cm) ; les prélèvements ayant été répartis sur tout le territoire intéressé par ces schistes :

Terre fine	Argile	Limon	Sables fins	Sables grossiers	Matières organ.
93,7 %	16,5 %	34,2 %	33,6 %	6,0 %	7,6 %

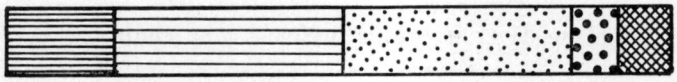
Les graphiques I et II feront mieux ressortir les granulométries comparées des sols granitiques et des sols schisteux.

La teneur en argile, mais surtout la teneur en limon sont plus fortes en région schisteuse. Autre différence très importante : les sables grossiers sont très peu abondants, 6 p. 100 contre 21 p. 100 dans le cas des terres granitiques. La proportion de terre fine est nettement plus élevée ici, 93,7 p. 100 contre 79,8 p. 100 ; enfin les matières organiques sont plus faibles dans les sols schisteux.

Les sols granitiques, que l'on peut qualifier de sols sableux, avaient donc un pouvoir filtrant supérieur à celui des sols schisteux qui rentrent dans la catégorie des sols limono-sableux.



Graphique I. Sols sur granulite.



Graphique 2. Sols sur schiste de St-Lô.

Nous allons maintenant examiner quelques profils de la région des schistes de Saint-Lô (sud de Gourin).

a) **Sols sous couvert forestier.**

Station nº 41, à 200 m Est du village de Le Launay-en-Gourin, en bordure du petit chemin débouchant sur la D. 128. Végétation, bosquet de chênes et châtaigniers sous-bois d'Erica cinerea, Vaccinium, mousse, lierre. Pente moyenne. On distingue :

de 0 à 8 cm un horizon humifère A_1 de couleur brun-clair ;

de 8 à 22 cm, un horizon beige encore légèrement coloré par la matière organique, argileux au toucher ;

de 22 à 40 cm, un horizon clair grisâtre à son sommet passant progressivement au bleu vers sa base ;

au-delà de 40 cm, les schistes bleus très mous.

Le rapport C/N de l'horizon 0-8 cm étant de 14,2, son pH de 4,65 et d'autre part l'aspect morphologique différent font que nous n'avons pas affaire à un humus type Mor mais à un humus de type intermédiaire. Le profil ne présente pas d'horizon visible enrichi en fer ou en argile, nous avons affaire à un sol brun.

Un deuxième profil examiné à 9 km S-O de Gourin près de la D. 27 est le suivant :

Végétation de Hêtres et Epicéas en bordure d'un petit chemin en pente avec sous-bois de vaccinium et lierre ;

0 à 4 cm, horizon A_0A_1 noir à tendance cendreuse,

4 à 50 cm, horizon B de couleur brun-ocre,

Au-delà de 50 cm, la roche mère constituée par des schistes tendres avec des cailloux de quartz.

La situation, en pente assez forte, fait que nous avons affaire à un sol jeune, cependant l'humus est du type Mor et il semble qu'il y ait une certaine libération de fer.

Ces deux exemples et en particulier le second, ne sont peut-être pas très bien choisis, mais ils montrent bien, cependant, qu'en région schisteuse, on peut trouver, sous couvert forestier ou sous lande, des types de sols podzoliques (ou bruns-podzoliques) ainsi que des types de sols bruns à humus très voisin du Mull.

b) **Sols sous culture.**

Voici l'analyse de trois profils prélevés à la sonde :

	Profondeur	Terre fine	Argile	Limon	Sables fins	Sables grossiers	Mat. organ.	pH
1°) Station 25 près Le Quelennec en prairie :								
brun ocre humifère.....	0–15	91,3	15,5	40,0	28,75	5,75	7,4	5,5
plus clair, toucher limoneux....	15–30	90	19,5	39,75	27,7	5,25	4,0	5,0
présence de débris de schistes bleus (cailloux de quartz)	50–80	59	5,0	37,0	34,8	18,5	2,8	5,2
2°) Station 30 (près chapelle de St Méen) :								
brun humifère	0–25	91,6	18,25	33,25	28,7	8,25	7,75	5,5
teinte plus claire, limoneux	25–50	89,3	15,75	38,75	34,6	5,5	1,8	5,2
présence de schistes décomposés, mais terre très meuble.....	70–85	76,2	7,75	39,0	38,0	12,5	0,5	5,0
3°) Station 63 (près Kermaprenou) :								
couche arable brune.....	0–20	95,7	18,5	32,75	32,3	5,25	8,55	5,8
teinte jaunâtre, limoneux	20–40	97,5	19,0	35,5	35,2	4,0	3,6	4,55
jaunâtre, limoneux	40–60	96,2	17,5	31,5	42,0	5,0	2,25	4,5
Le schiste apparaît au delà de 60 cm.								

Les rapports Carbone sur Azote sont de 11,2 pour le n° 2 et de 10,4 pour le n° 3. Le lessivage de l'argile n'apparaît pas à l'analyse, les profils sont uniformes, surtout le n° 3 ; lorsque l'on arrive dans l'horizon C, la proportion d'argile diminue fortement, les sables grossiers augmentent ainsi que les graviers. Ces sols ont les caractères de sols bruns-acides.

3. Les sols des dépressions tertiaires

Ces formations (Pb sur la carte géologique) sont assez peu représentées en Bretagne. On en trouve une petite zone dans la vallée de l'Odet, en aval de Quimper, une autre zone au nord de Pontivy et enfin une zone assez importante entre Coray, Roudouallec et Guiscriff à cheval sur le Finistère et le Morbihan. Nous étudierons ici les sols hydromorphes des dépressions, caractéristiques de cette formation, puisque, comme nous l'avons signalé au chapitre " Substratum géologique " de nombreux sols des parties les plus élevées, sont formés sur les schistes micacés ;

on y trouve alors des sols bruns acides, par exemple aux Stations 71, 52 et 54 du tableau IV.

Pour 12 échantillons de couche arable, nous avons la granulométrie moyenne qui suit :

Terre fine	Argile	Limon	Sables fins	Sables grossiers	Matières organ.
92,85 %	19,7 %	28,3 %	37,7 %	6,25 %	8,9 %

Ces proportions, assez analogues à celles que nous venons de noter pour les schistes en diffèrent cependant par des teneurs en argile et en matières organiques plus élevées.

Voici la description de deux profils typiques :

1er Profil : Station 49 près du village de Boudoubanal, au carrefour de D. 27 et de la route de Guiscriff, champ cultivé.

	Profondeur	Terre fine	Argile	Limon	Sables fins	Sables grossiers	Matières organ.	pH
couche humifère, très noire	0–20	93,0	19,25	22,75	38,7	7,5	9,14	5,9
sous-sol argileux, couleur	20–40	95,0	21,25	27,0	40,3	8,0	3,08	5,25
ocres avec de petites taches rouilles plus foncées	40–60	91,4	19,5	24,75	43,5	10,0	0,55	5,1

Vers 1 m, on trouve une argile blanche formée de cristaux soyeux de mica blanc.

2e Profil : Station 48 en bordure de D. 108, champ cultivé.

couche humifère, très noire	0–20	94,0	18,25	26,75	38,1	4,5	9,08	5,3
aspect d'un gley-teinte rouille	25–50	92,0	17,75	31,5	40,1	6,75	2,83	5,3
avec zones blanc-bleuâtre très importantes	70–90	94,3	18,75	33,25	38,5	8,0	0,63	5,2

Vers 1 m, on trouve également l'argile blanche signalée ci-dessus.

On trouve dans le profil des petits cailloux de quartz roulés.

Les rapports C/N de 14,8 et 15,7 indiquent une très mauvaise décomposition de l'humus. Ces deux profils sont analogues à ceux des Stations nº 47-55 et 70 décrits dans le tableau IV à la fin de l'étude ; par contre, le profil nº 58, présente une granulométrie analogue mais n'est pas hydromorphe, le plan d'eau n'arrivant jamais dans les horizons superficiels.

Les sols de ces régions seront classés tantôt dans les sols marmorisés, tantôt dans les sols à gley type, suivant la permanence de la nappe.

4. Les sols des auréoles métamorphiques

Nous ne nous arrêterons pas sur les sols de ces zones puisque nous pouvons y rencontrer des formations à arènes gneissiques sur lesquelles les sols sont du type des sols granitiques (station 30 *b*, 31, 32, 33 et 78 du tableau V) et des sols bruns sur schistes micacés analogues aux sols sur schistes de Saint-Lô (Stations 56 et 77). Voir sur la photo nº 9 la Station 56.

5. Les sols sur cailloutis et poudingues de Gourin

Il est possible d'observer les poudingues dans une carrière à la sortie de Gourin sur la route de Plouray et d'autre part à 1 km est de Guiscriff (Station 75) où nous avons étudié un profil de sol podzolique, les résultats des analyses sont portés au tableau VI.

Nous insisterons ici sur les zones où affleurent le cailloutis, c'est-à-dire des petits galets de quartz de 1 à 3 cm de diamètre, non cimentés.

PHOTO 9. — Station 56. Sol brun acide sur schistes micacés.
Remarquer la schistosité verticale de la roche mère, le marteau est placé a la base de l'horizon meuble.

Station 41 *b*. — *Podzol humo-ferrugineux* : 400 m est du village Le Launay en Gourin. Profil observé sous la bordure d'un champ cultivé.

0-6 A_0 noir,
6-20 A_1 noir à tendance cendreuse,
20-30 A_2 horizon gris clair cendreux,
30-32 B_1 noir grâce à une accumulation de matières organiques,
32-36 B_2 couleur rouille accumulation ferrique.
Au-delà de 40, la roche mère constituée par le cailloutis. Tout le profil est d'ailleurs rempli de petits galets.

Cette tache de podzol typique se prolonge sur la hauteur que gravit la D. 128 (côte 193) en se dirigeant vers Langonnet ; une partie de ce sommet est couvert par un bois de pins, d'autre part, nous avons analysé un sol venant d'être retourné à la Station 40 (tableau III).

Station 86. — *Podzol humo-ferrugineux* : Côte 229 au pied de la forêt de Conveau, 2 km au nord de la route de Gourin-Plouray, à l'ouest du carrefour D. 121 et route se dirigeant vers Saint-Nicolas et Gourin. Végétation de lande à éricacées : E. cinérea, Calluna vulgaris, Ulex nanus, molinie. Le profil est constitué presque uniquement par le cailloutis.

0-4, A_0 couleur brun-rouge, débris végétaux très peu décomposés,
4-15, A_1 noir, humus type Mor ; rapport C/N = 21,
15-40, A_2 horizon cendreux,
40-45, B_1 accumulation humique noire enrobant en quelque sorte les galets,
45-55, B_2 accumulation ferrique. Le premier centimètre de cet horizon est très rouge et très riche en oxydes de fer, puis la coloration diminue progressivement.
Au-delà de 55, Horizon C, cailloutis.

Voir la photo nº 10.

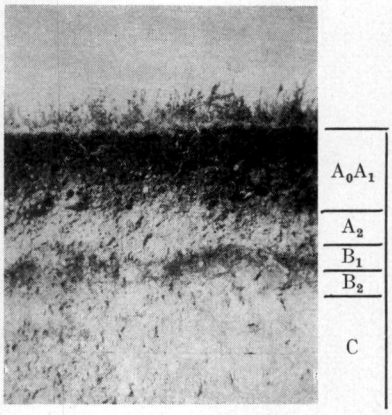


PHOTO 10. — Station 86. Podzol humoferrugineux sur cailloutis.

L'analyse physique d'un champ cultivé sur ce podzol est donnée au tableau III. Station 86.

Ces deux dernières descriptions semblent indiquer que le climax, sur cette formation très perméable et pauvre en bases, est le podzol humo-ferrugineux.

6. Les sols sur grès armoricains

Comme nous l'avons déjà signalé, nous trouvons ces grès sur une étroite bande au sommet de la chaîne de la Montagne Noire. Ils présentent peu d'importance au point de vue agricole : en bas de pente, on peut rencontrer des surfaces cultivables alors que sur les sommets, la roche très dure fournit des sols très caillouteux où la lande qui s'y est installée les a transformé en podzols.

La photo nº 11 a été prise à la carrière située à 3 km N-O de Gourin, près du village Le Clanbras, côte 183, Station 65.

Sous la lande à éricacées, on observe :

0-30, Horizon A_0A_1 humifère très noir.

30-55, Horizon A_2 cendreux, très clair, bien visible sur la photo.

55-60, Horizon B_1 d'accumulation humique. La profondeur de cet horizon peut varier de façon assez importante.

60-70, Horizon B_2 d'accumulation ferrique. Les oxydes de fer très abondants immédiatement sous l'horizon B_1 diminuent ensuite progressivement.

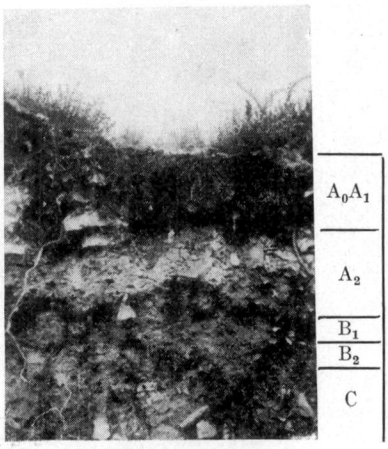


PHOTO 11. — Station 65. Podzol humoferrugineux sur grès armoricains.

Cet horizon accompagne toujours l'horizon B_1 au cours de ses sinuosités.

Au-delà de 70, la roche mère : soit un mélange de limon finement sableux et de cailloux assez gros de grès et quartzites.

II. — ÉTUDE AGRONOMIQUE

La valeur agronomique d'un sol dépend d'abord de ses qualités physiques, caractères permanents difficilement améliorables, puis en second lieu de ses qualités chimiques susceptibles d'amélioration. Nous allons voir que la composition chimique de la couche arable varie peu dans la région de Gourin, quelle que soit la région géologique, mais qu'au contraire, les propriétés physiques varient beaucoup : profondeur de la couche meuble, niveau d'eau, composition granulométrique. Ce sont ces facteurs physiques, eux-mêmes, sous l'étroite dépendance du substratum géologique, qui vont définir les principales régions agricoles.

Les facteurs pédologiques, mis à part les cas extrêmes des sols hydromorphes et des podzols, ne semblent pas apporter d'éléments valables

de distinction ; les sols cultivés étant presque toujours des sols bruns acides où les phénomènes de lessivage sont peu ou pas marqués.

Les deux grandes régions à distinguer, les plus importantes en superficie, seront les régions de type granitoïde et les régions de type schisteux.

1° **Les régions granitoïdes** : se rencontrent à l'intérieur des massifs granulitiques et dans certaines parties des auréoles métamorphiques. Leurs particularités essentielles sont une faible proportion d'argile et de limon, une forte proportion de sables grossiers, une forte teneur en matières organiques noires, des sols souvent minces et une déficience originelle en cuivre.

2° **Les régions schisteuses** : schistes de Saint-Lô, de Gourin et certaines zones à schistes micacés des auréoles métamorphiques. Les particularités étant une plus forte proportion d'argile et surtout de limon, une teneur en matières organiques un peu plus faible, des sols meubles sur une bonne profondeur. Au point de vue richesse chimique, ces sols ne sont pas mieux pourvus que les sols granitiques en chaux et acide phosphorique.

Nous dirons accessoirement un mot des sols hydromorphes des dépressions et des podzols sur cailloutis.

1. Régions granitiques

Dans la région de Gourin, comme d'ailleurs en Bretagne en général, les régions granitiques et granulitiques sont parmi les plus déshéritées : elles constituent des régions agricoles de fertilité naturelle très faible à moyenne. Ce sont des régions de « Montagne » et de « terres légères » comme on les appelle habituellement dans le pays. Les traits marquants étant un relief assez accusé avec des pentes souvent excessives et des versants rocheux où la culture est impossible, enfin une teneur faible en argile et limon donnant des sols de peu de consistance.

a) Données physiques.

Rappellons la composition granulométrique moyenne.

Terre fine	Argile	Limon	Sables fins	Sables grossiers	Matières organ.
79,8 %	14,8 %	20,8 %	32,2 %	21,0 %	8,5 %

Les écarts enregistrés sont 11 et 18,5 p. 100 pour l'argile, 16 et 28 p. 100 pour le limon, la constance de la proportion de sables grossiers est très bonne puisqu'elle ne s'écarte pas beaucoup de 20 p. 100. Le chiffre de 14,8 p. 100 d'argile est plus élevé que celui trouvé au cours de l'étude de Loguivy-Plougras et qui était de 13 p. 100 mais le nombre d'échantillons analysé,

encore trop faible, ne permet pas de savoir si cela correspond bien à une réalité. Les proportions élevées de sables grossiers et de graviers supérieurs à 2 mm jointes à la forte proportion de matières organiques contribuent encore à alléger et à donner des sols très filtrants. Le travail du sol sera facile et, s'égouttant rapidement après les pluies, on peut le travailler en toutes saisons. Les sols de ces régions se distinguent, en outre, des régions schisteuses par une couleur très noire où la matière organique leur confère une structure grumeleuse stable à tendance poudreuse. Il est certain que la faiblesse en colloïdes minéraux, surtout lorsqu'elle est associée à une profondeur meuble faible, ne donnera pas des réserves d'eau importantes en période d'été, indispensables à un rendement maximum. Au cours de cette étude, nous ne pouvons pas signaler les microvariations de profondeur de la couche meuble dues, soit à la topographie, soit à la dureté de la roche ou à sa plus ou moins grande altération en profondeur. Dans une cartographie détaillée, il y aurait lieu naturellement de tenir compte de ces facteurs qui peuvent varier de 10 m en 10 m. Les meilleures situations où les sols de culture sont les plus productifs sont situées sur les plateaux quand la roche mère est altérée en profondeur, ou bien en bas des pentes faibles, où des limons de colluvionnement peuvent dépasser 1 m d'épaisseur. Signalons enfin l'apparition très facile de petites zones hydromorphes ; même sur un plateau ou une pente très faible, la moindre cuvette peut provoquer la formation d'une tourbière car le sous-sol constitué par la roche compacte est tout à fait imperméable.

b) **Données chimiques.**

pH. — La mesure électrométrique de l'acidité actuelle donne, en général, les valeurs ci-dessous :

Horizons A_0 et A_1 des sols podzoliques sous landes ou forêt, pH 3,8 à 4,2. Ces chiffres vont ensuite en augmentant avec la profondeur pour atteindre 4,5 à 4,8 dans l'arène (horizon C).

Les champs cultivés sans amendements calcaires ont des pH voisins de 5. Au cours de l'étude présente, nous n'avons trouvé qu'une proportion de 30 p. 100 de sols cultivés dont le pH a été amené aux environs de 6 par les amendements calcaires.

Azote et carbone. — Si la matière organique totale des sols cultivés, dosée par perte au feu est de 8,5 p. 100 en moyenne, l'azote total (Kjeldahl) varie de 3,38 à 4,34 p. 1000 et le carbone (Anne) de 39,6 à 50,4 p. 1000.

Le rapport carbone sur azote, dans ces conditions, va de 10,9 à 13,2, c'est-à-dire qu'il est élevé pour des sols cultivés. L'humus grossier du type Mor, qui s'accumule sous la lande ou la forêt, a un rapport C/N compris entre 20 et 25, mais ce rapport diminue assez rapidement après

la mise en culture. Comme de nombreuses parcelles n'ont été mises en valeur que depuis le début du siècle, cela explique que l'on trouve encore des matières organiques peu évoluées. Les composés non azotés tels que la lignine se détruisent très lentement dans les régions à climat océanique accentué.

Acide phosphorique assimilable. — (Méthode Dyer à l'acide citrique à 2 p. 100). La couche labourée des sols granitiques cultivés sans engrais phosphatés ou avec de très faibles doses est uniformément très pauvre en P^2O^5 : 0,020 à 0,050 p. 1000. Si nous analysons les sous-sols, nous sommes surpris de trouver des teneurs beaucoup plus élevées supérieures à 0,100 p. 1000 et atteignant parfois 0,300 p. 1000. Il s'agit ici d'acide phosphorique pédologique ayant accompagné les sels de fer dans leur migration, car nous analysons avec les sous-sols, les horizons B d'accumulation ferrique ; ce phénomène avait déjà été signalé par Joret et Malterre (5). La profondeur d'accumulation de ce phosphore n'est jamais très grande et sous l'influence des chaulages, il est possible qu'une partie de ce phosphate de fer puisse devenir assimilable.

La culture rationnelle avec de fortes doses d'engrais phosphatés élève progressivement la teneur en P^2O^5 assimilable et de nombreuses exploitations révèlent des teneurs de couche arable de 0,070 à 0,080 p. 1000 témoignant d'un certain enrichissement ; les meilleures parcelles arrivent à 0,150 ou 0,200 p. 1000 chiffres à partir desquels nous considérons que l'alimentation phosphatée des végétaux est optimum et où il suffira de compenser les exportations des récoltes.

Potasse assimilable. — (Méthode Schlœsing). Nous avons analysé quelques sous-sols de champs cultivés de façon à éliminer l'influence de l'histoire culturale (20 à 40 cm ou 25 à 40 cm). Les chiffres obtenus sont très faibles 0,050 à 0,070 p. 1000 mais pouvant atteindre 0,100 p. 1000.

Dans les couches arables, les teneurs les plus faibles sont 0,080 à 0,100 p. 1000 mais généralement les chiffres sont de 0,150 à 0,200 p. 1000 pour atteindre 0,300 p. 1000 dans les terres les plus riches. Lorsque la teneur est inférieure à 0,100 p. 1000, la carence en potasse peut diminuer fortement le rendement des plantes sarclées exigeantes en potasse telles que la pomme de terre.

Oligo-éléments.

1) *Manganèse* : « Le manganèse actif » dosé par la technique indiquée par l'un de nous (6) donne des valeurs très faibles pour le village de Kerdaouscouët en Le Faouët (4 à 10 p. p. m.), ce qui signifie que des carences graves peuvent se produire sur céréales si le pH du sol s'élève vers 6,2-6,3 par apport de calcaire ; condition réalisée dans certaines parcelles comme nous avons pu le constater. La technique rapide de détermination du manganèse actif proposée par R. Bittel (7) donne des chiffres

inférieurs à ceux de notre technique dans le cas des sols bretons les moins bien pourvus en manganèse, en employant un réactif acétoacétique tamponné à pH 4,8, quelque soit le pH de la terre. Étant donné la rapidité de la méthode, nous l'avons appliquée aux sols prélevés au cours de cette étude.

Pour 12 échantillons de couche arable des régions granulitiques, la moyenne est 7,75 p. p. m. de Mn avec comme extrêmes 3 et 13 p. p. m. En régions schisteuses, nous verrons au chapitre suivant que la moyenne de 26 échantillons est de 24,5 p. p. m. Ceci confirme les observations qu'il nous avait déjà été possible de faire sur la fréquence plus grande des cas de carence en manganèse en régions granitiques.

2) *Cuivre* : Signalons tout de suite, que les premières carences cupriques étudiées en Bretagne en 1952, l'ont été sur le territoire de la commune du Faouët (8). Les recherches poursuivies depuis ont établi que la carence était liée à une déficience originelle des minéraux constitutifs de la granulite ou du granite. Nous pensons de ce fait que la presque totalité des sols du massif granulitique de Le Faouët-Langonnet, ainsi que ceux de la traînée granulitique de Quimper à Pontivy étaient carencés au moment de la mise en culture. Voici les résultats de 12 dosages de cuivre total sur des échantillons de sols ou sous-sols du massif du Faouët.

Station nº 2 : 2 — 2,5 — 5 p. p. m.
Station nº 8 : 3 — 3 — 1,5 p. p. m.
Station nº 10 : 1,7 p. p. m.
Station nº 11 : 6,5 — 6 — 2,5 p. p. m.
Station nº 14 : 3,5 — 3,5 — p. p. m.
Station nº 35 : 9 p. p. m.

soit une moyenne de 2,59 p. p. m. (parties de Cu par million de terre fine séchée à l'air).

Par contre pour 20 échantillons de sols sur schistes de Saint-Lô, les chiffres suivants sont enregistrés ; en p. p. m. de Cu : 15, 29, 29, 31, 25, 35, 27, 30, 20, 22, 25, 16, 24, 22, 22, 20, 39, 25, 13,5 et 13,5. La moyenne est de 24,1 p. p. m. Ces chiffres sont d'une très grande netteté et confirment ce que nous avions déjà trouvé pour d'autres régions bretonnes ; les sols granitiques sont originellement carencés alors que sur les sols sédimentaires, la teneur en cuivre permet toutes les cultures. Les conséquences de la carence en cet oligo-élément ont été et sont toujours d'une grande importance au point de vue agricole. On sait que les traitements anticryptogamiques aux produits cupriques laissent au sol des résidus de cuivre suffisants pour annihiler les carences mais dans ces régions du Morbihan où l'on fait peu de sélection de pommes de terre, ces traitements ne sont pas généralisés. L'extension de la culture du blé a été considérablement gênée par cette déficience, le blé étant l'une des céréales

les plus sensibles ; les cultures de l'avoine, de l'orge, du trèfle violet sont de même impossibles sans enfouissement d'un sel de cuivre. De nombreuses landes, de nombreuses terres de culture abandonnées ne pourront donner des récoltes normales tant que ne sera pas incorporé au sol l'équivalent de 6 à 7 kg de cuivre métal par hectare.

c) **Conclusions pratiques.**

Nous avons vu les défauts physiques des terres granulitiques, défaut d'argile, excès de sables donnant des terres légères manquant de corps. L'importance de la fraction organique abondant encore dans ce sens, on peut recommander de réduire au stricte minimum les fumures au fumier de ferme, tout au moins pendant un certain nombre d'années. Ces sols étant déjà très riches en humus, le fumier ne peut que les alléger encore et il est souhaitable de provoquer une diminution de cette matière organique en même temps qu'une évolution vers des formes à rapport C/N faible sous l'influence du chaulage et en limitant tout amendement humique. Un autre point, touchant les façons culturales et en particulier la culture des céréales, est celui du tassement de la terre avant semis. Le blé doit être semé en terre bien rassise en profondeur aussi, il est très important et ici plus qu'ailleurs d'utiliser le rouleau, ce que les agriculteurs du pays n'ont pas l'habitude de faire. Ce travail aurait un intérêt d'un autre ordre, celui de diminuer l'intensité des carences en manganèse comme nous avons pu le constater, avec M. Coic, dans le Finistère. Les oxydes de manganèse deviennent, en effet, inassimilables sous l'influence de phénomènes d'oxydation qui seront réduits dans les sols bien tassés.

Les bases de l'amélioration chimique de ces régions seront *le chaulage* et *l'enrichissement phosphorique*. A propos du chaulage, il sera indispensable d'observer une grande prudence. S'il est nécessaire de chauler les sols de pH : 5, il ne faut surtout pas chercher à atteindre la neutralité théorique, soit pH = 7 et nous verrons qu'un pH voisin de 6 est bien suffisant. Déjà à Ph = 6,3, de graves carences en manganèse peuvent se produire sur céréales, d'autre part, nous savons que le piétin échaudage des céréales est favorisé par la chaux (9) et peut être très grave dès pH = 6, il en est de même de la gale commune de la pomme de terre (10). Le besoin en chaux nécessaire pour faire passer le pH de 5 à 6 est de l'ordre de 10 tonnes de carbonate de chaux pur (CO^3Ca) par hectare, soit environ 8 tonnes de chaux éteinte à 70 p. 100 de CaO. Ce chiffre est élevé du fait de la teneur des sols en matières organiques acides, essentiellement, car d'autres facteurs feraient plutôt que le besoin en chaux soit moins fort : défaut d'argile, excès de graviers supérieurs à 2 mm. Une fois cette quantité de chaux enfouie dans le sol, il n'y aura lieu que de com-

penser les pertes par de petits chaulages d'entretien ne dépassant pas une moyenne de 4 à 500 kg en CaO par hectare et par an. Le choix des amendements calcaires dépendra en premier lieu du prix de revient de l'unité neutralisante CaO, mais nous donnerons la préférence aux calcaires marins (trez, maërl) plutôt qu'aux chaux agricoles, puisqu'il est préférable, dans les sols granitiques de n'élever le pH que lentement et avec modération.

L'enrichissement phosphorique peut se concevoir de la façon suivante ; façon qui a été reconnue d'après divers essais comme techniquement valable et économiquement rentable : doses massives de 180 unités P^2O^5 par hectare chaque année pendant 4 ou 5 ans, puis doses d'entretien pouvant varier de 40 à 50 unités P^2O^5 par hectare et par an suivant l'intensité de l'assolement. Les fumures de fond seront choisies parmi les phosphates naturels ou les scories de déphosphoration, les fumures d'entretien seront apportées soit en scories à l'automne, soit en phosphates plus solubles au printemps (superphosphate, bicalcique, engrais composés).

Au point de vue *potasse*, on se basera surtout sur les exportations faites par les diverses cultures, ce qui nous amène, en général, à des doses de chlorure de potasse de 100 kg/ha pour les céréales et 250 à 300 kg/ha pour les plantes sarclées exigeantes en potasse.

L'analyse chimique des sols sera, du point de vue chaux, acide phosphorique et potasse, le plus sûr guide du cultivateur et lorsque le sol sera équilibré pour ces 3 éléments de base, il sera dès lors possible d'employer, dans chaque cas, la dose maximum d'*engrais azotés* compatible avec la rentabilité de l'opération.

Si les potentialités culturales des zones granitiques sont très médiocres, dans l'ensemble, on arrive cependant par les techniques de fertilisation dont nous venons de parler à de très bons résultats, les rendements obtenus dans les meilleures exploitations sont là pour en témoigner.

2. Régions schisteuses

Si nous avons dit à propos des régions granitiques qu'elles constituent, en Bretagne, les terroirs les moins fertiles, c'est en régions schisteuses, au contraire, que l'on rencontre les terroirs les plus riches ; région du Porzay sur schistes de Saint-Lô, bassin de Chateaulin sur schistes carbonifères, bassin de Pontivy et Loudéac sur phyllades de Saint-Lô et schistes de Gourin, soit l'étage géologique qui nous intéresse ici.

Nous prendrons comme type de zone schisteuse la région située immédiatement au sud de Gourin et qui s'étend jusqu'à proximité de Guiscriff, là, où l'on rencontre généralement les schistes de Saint-Lô (schistes bleus). Nous verrons que la richesse chimique en éléments

majeurs n'est pas supérieure à celle des granites mais que ce sont les propriétés physiques qui donnent des sols de valeur culturale supérieure.

a) **Données physiques.**

La granulométrie comparée à celle des sols granitiques est bien mise en relief par les graphiques I et II, tracés à propos de l'étude pédologique.

L'argile est plus abondante 16,5 p. 100 contre 14,8 p. 100 mais la proportion de limon est en augmentation beaucoup plus forte encore 34,2 contre 20,8. Autres traits marquants, les sables grossiers qui tombent à 6 p. 100 au lieu de 21, la proportion de matières organiques un peu plus faible et enfin la proportion de terre fine plus élevée.

Les graviers supérieurs à 2 mm et les sables grossiers peuvent être constitués sur granulite par des grains de quartz ou de feldspath, tandis que sur les schistes très fins, la totalité des produits de décomposition peut avoir un diamètre inférieur à celui des sables grossiers (0,2 mm). Ce sont les cailloux de quartz, toujours très abondants, qui fournissent une certaine proportion d'éléments grossiers.

La teneur en humus, très importante dans ces sols, fait que la structure est rarement trop forte surtout après chaulage malgré des proportions d'argile et de limon élevées dans les cas extrêmes.

Par rapport aux sols granitiques, le complexe argileux plus important fait que les réserves en éléments fertilisants absorbés et en eau seront plus grandes, d'autant plus que la profondeur meuble est, en général, plus grande aussi.

b) **Données chimiques.**

Acidité-pH : Les valeurs données au chapitre « Sols granitiques » peuvent s'appliquer ici, le complexe absorbant est insuffisamment saturé en bases, les sols sont originellement acides, les chaulages s'imposent.

Azote et carbone : Sur les schistes, nous avons trouvé des humus grossiers du type Mor, mais également des humus de transition à rapport C/N plus faible. En sols cultivés, ces humus ont évolué vers des formes à C/N se rapprochant de 10 ; en régions schisteuses, d'autre part, la proportion de champs mis en culture depuis des temps très lointains est plus importante que sur les granites. Pour 14 parcelles cultivées, la moyenne du C/N est de 10,27 avec comme extrêmes 8,2 et 11,9 ; la moyenne pour les parcelles granulitiques était 11,66.

Les écarts pour l'azote sont ici 2,69 et 3,83 p. 1000, pour le carbone 26,1 et 44,4 p. 1 000, ce qui indique en plus, confirmant le chiffre de perte au feu, des valeurs plus faibles pour la quantité totale de cette matière organique.

ACIDE PHOSPHORIQUE ASSIMILABLE : Nous avons analysé 14 sous-sols de parcelles cultivées pour éliminer l'influence possible des apports d'engrais ; les chiffres sont pour la plupart extrêmement faibles, touchant aux limites de sensibilité de la méthode (Lorenz après extraction citrique à 2 p. 100) : 0,019 — 0,041 — 0,073 — 0,055 — 0,045 — 0,015 — 0,087 — 0,018 — 0,014 — 0,006 — 0,006 — 0,018 — 0,010 p. 1000.

Les remarques concernant les teneurs des couches arables après apport de phosphates, faites au chapitre « Granite » peuvent s'appliquer également ici, tout au moins jusqu'à plus ample imformation. La base de l'amélioration chimique sera encore pour ces territoires l'enrichissement phosphorique.

POTASSE ASSIMILABLE : Dans les mêmes 14 sous-sols, la potasse Schlœsing est la suivante :

0,110 — 0,075 — 0,090 — 0,095 — 0,045 — 0,055 — 0,060 — 0,060 — 0,065 — 0,040 — 0,085 — 0,045 — 0,090 — 0,070 p. 1000.

Ces valeurs sont faibles à très faibles, elles sont généralement plus élevées pour les sols et atteignent les chiffres indiqués à propos des sols granitiques. Si la déficience potassique est moins préoccupante que la déficience phosphorique, il se posera tout de même des problèmes d'enrichissement de la couche arable en potasse.

OLIGO-ÉLÉMENTS : 1) *Manganèse* : 26 échantillons de couche arable testés par la technique rapide de détermination du Mn actif proposée par R. BITTEL (7) fournissent la moyenne arithmétique de 24,5 p. p. m. (mg de Mn par kg de terre fine séchée à l'air) les extrêmes étant 5 et 102 p. p. m. Cette moyenne est nettement supérieure à celle de la granulite (7,75 p. p. m.) ; c'est-à-dire que les probabilités d'apparition de carences en manganèse seront moins grandes si nous admettons qu'à partir de 20 p. p. m. les plantes peuvent absorber suffisamment de manganèse quelque soit le pH du sol. Deux raisons militent encore en ce sens : la présence d'une plus forte quantité d'argile qui atténue l'élévation du pH sous l'influence des amendements calcaires et enfin, le fait que les sols schisteux sont moins soulevés, moins légers donc moins favorables aux phénomènes d'oxydation.

2) *Cuivre* : Au chapitre « Granite » ont été donnés les résultats des dosages de cuivre total dans les sols de la région des schistes de Saint-Lô. La moyenne, 24,1 p. p. m., contre 2,59 p. p. m. aux granites indique clairement que les terrains sédimentaires ne sont jamais déficients en cuivre. Nous admettons, qu'à partir de 8-10 p. p. m., la carence cuprique est exclue.

c) **Conclusions pratiques.**

Les zones schisteuses de la région de Gourin auront, dans la plupart des cas, sauf défaut physique grave, (manque de profondeur, excès de

pente) de bonnes possibilités de rendement dès lors qu'elles auront reçu les quantités adéquates de chaux, de phosphore et de potasse.

Nous pensons que pour ces sols plus lourds, il y a moins d'inconvénient à élever leur pH au voisinage de la neutralité, mais il ne semble pas qu'il soit nécessaire, sauf peut-être dans quelques cas spéciaux, d'amener le pH à des valeurs supérieures à 7 pour améliorer la structure. Les amendements calcaires seront, d'abord, choisis en fonction du prix de revient de l'unité neutralisante CaO, de toute façon, on n'en apportera des doses massives qu'après analyse du sol, car il ne faut pas modifier trop brutalement la réaction, mais procéder par paliers capables d'augmenter le pH de 0,5 unité seulement. Au point de vue acide phosphorique, on cherchera à enrichir, au plus vite, le sol jusqu'à une teneur de 0,150 p. 1000 environ (P^2O^5 citrique) ; pour la potasse assimilable (méthode des éléments échangeables ou méthode Schlœsing) une teneur de 0,250 p. 1000 sera très bonne, soit un indice de 30 à 50 selon la méthode BARBIER-MORGAN.

Le complexe absorbant étant ainsi bien pourvu, il suffira de l'entretenir pas des fumures d'entretien appropriées ; les engrais azotés permettant des rendements très élevés. Dans la région de Gourin là où les bonnes techniques de fertilisation sont acccompagnées de toutes les autres techniques modernes, de très bons rendements sont obtenus, aussi bien en pommes de terre, betteraves demi-sucrières qu'en blé ou orge de printemps.

Sols des régions hydromorphes

Nous voulons parler de la région tertiaire qui s'étend entre Roudouallec et Guiscriff. La culture est très difficile, surtout les années humides, par suite de la présence d'un plan d'eau à faible profondeur. L'amélioration foncière primordiale serait donc d'abaisser ce plan d'eau dans toute la mesure du possible en améliorant le réseau des fossés à ciel ouvert et en drainant. La teneur en argile dépasse souvent 20 p. 100 dans le sous-sol mais grâce à la forte teneur en humus et au chaulage, la structure pourra être bonne. La couche arable est ici très noire et très riche en humus mal décomposé, par l'apport de calcaire amenant le pH à des valeurs à peine supérieures à 6 et par des labours plus profonds, on arrivera à de bons résultats dans la plupart des cas. L'acide phosphorique faisant également défaut, les engrais chimiques permettront l'obtention de récoltes acceptables sinon en céréales tout au moins en prairies artificielles.

Sols des podzols sur cailloutis

Les superficies occupées par ces podzols sont peu importantes et nous les avons seulement observées aux stations 41 *b* et 86. L'horizon

A_0A_1 humifère peut avoir 15 à 20 cm d'épaisseur, l'horizon cendreux A_2 va ensuite jusqu'à une profondeur de 30 ou 40 cm, puis nous trouvons une mince couche d'accumulation humique et une couche de quelques centimètres d'accumulation ferrique, accompagnées du peu de bases et de P_2O_5 venus des horizons supérieurs. La très faible proportion d'argile 9 p. 100 et de terre fine 65 p. 100 conditionnent, d'autre part, de faibles potentialités culturales. L'observation des récoltes nous a cependant surpris par leur qualité qui, bien que très médiocre, est acceptable. Des chaulages progressifs transformeront l'humus et créeront un milieu favorable à la vie microbienne, tandis que des doses très modérées de phosphore et de potasse seront suffisantes, étant donné la faiblesse du complexe et le risque d'entraînement en profondeur.

Dans ce matériau, très filtrant (galets de 1 à 3 cm de diamètre), les racines peuvent atteindre assez facilement les horizons B qui ne se trouvent, comme nous venons de le voir, qu'à une faible profondeur.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

La présente étude n'avait naturellement pas pour but une cartographie agronomique détaillée du territoire des sept communes citées dans les premières lignes du texte, les moyens à mettre en œuvre pour un tel travail seraient, bien entendu, infiniment supérieurs. Une seule tentative de ce genre a été faite, en Bretagne, pour la commune de Loguivy-Plougras (C.-du-N.), elle a abouti à la publication d'une carte pédologique au 1/50.000 et d'une carte de la valeur agronomique relative des sols au 1/20.000 accompagnées d'un mémoire dans les *Annales Agronomiques* de 1957.

Le but des prospections faites dans la région de Gourin était d'approfondir la connaissance des sols bretons et d'apporter quelques données supplémentaires pour la définition du « milieu sol » de cette petite région où la variété des sols rencontrée permettra d'utiles extrapolations à d'autres parties du département. C'était un premier stade indispensable qu'il fallait franchir avant d'aborder une cartographie ou tout au moins une étude plus poussée. Nous ne disposions, à ce jour, que de la carte géologique au 1/80.000 et de la carte pédologique au 1/1.000.000, nous disposons à présent d'une sorte de lien entre la géologie, la pédologie et l'agronomie. Ce lien encore fort imparfait servira cependant de cadre et de guide pour les investigations futures ; il pourra en tout cas rendre des services aux techniciens agricoles locaux.

Nous avons insisté sur l'importance des données physiques dans la valeur agronomique d'un sol ainsi que sur la conséquence de la composition chimique de certaines roches au regard des oligo-éléments.

Les données recueillies au cours de l'étude jointes aux résultats d'expériences culturales effectuées par la Station de Quimper permettront de donner de judicieux conseils de fertilisation. Des précisions manquent cependant sur les bilans du phosphore, du potassium, du calcium, ces précisions devraient être obtenues par l'expérimentation directe au champ grâce à des champs d'essais de longue durée organisés sur les divers types de sols de la région gourinoise.

Reçu pour publication en mars 1958.

SUMMARY

Surveys conducted in the Gourin region led to a better knowledge of soils in Brittany, as the variety of soils present permit useful extrapolations for other areas of the department.

The geographical position, geology, topography, hydrology and climate of the Gourin region are described, and the soils and agriculture of the region are discussed in detail.

The importance of physical conditions in the agricultural value of the soils, and the effect of the chemical composition of certain parent rocks on trace-element concentrations are stressed.

Data obtained in the course of the study, together with results of field experiments at Quimper, will serve as a basis of judicious recommendations for the fertilizing practice.

Почвы района ГУРЕН (*Морбихан*).
Кимперская Агрономическая станция (Финистэр).
КОППЕНЕТ и ГЕЛИА.

РЕЗЮМЕ

Почвенные исследования произведенные в области ГУРЕН позволили лучше ознакомиться с бретонскими почвами; в самом деле, разнообразие встреченных почв позволит полезные экстраполяции для других частей департамента.

Сначала авторы дают указания касающиеся географического положения, геологических материнских пород, топографии, гидрографии и климата области ГУРЭН, затем они подробно изучают область как с педологической, так и с агрономической точки зрения.

Они настойчиво обращают внимание на значение физических данных при определении агрономической ценности почвы, равно как и на важность знания химического состава некоторых горных пород в смысле олигоэлементов.

Данные полученные из этого исследования совместно с результатами опытов на полях агрономической станции КИМПЕР позволят давать верные советы относительно удобрения.

ZUSAMMENFASSUNG

Durch in der Gegend von Gourin gemachten Untersuchungen konnte die Kenntnisse über die bretonischen Böden ergründet werden. In der Tat, erlaubt die Mannigfaltigkeit der untersuchten Böden nützliches Extrapolieren für andere Gegenden des Departements.

Die Autoren geben zuerst genauere Angaben über die geographische Lage, das geologische Substrat, die Topographie, die Hydrographie und das Klima der Gegend von Gourin um danach diese Gegend, sowohl in Bezug zur Bodenkunde als auch in Bezug zur Landwirtschaft ausführlich zu studieren.

Sie legen ein besonderes Gewicht auf die Wichtigkeit der physikalischen Merkmale eines Bodens in Bezug zu seinem landwirtschaftlichen Wert und auch auf die Folgen der chemischen Zusammensetzung gewisser Gesteine in Bezug zu den Spurenelementen. Die bei der Untersuchung erworbenen Angaben in Verbindung mit den Ergebnissen der durch die Forschungsanstalt von Quimper gemachten Feldversuche, erlauben vernünftige Ratschläge für die Düngung zu geben.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) KUNTZ (J.). — Monographie agricole du département du Morbihan. Imprimerie Chaumeron. Vannes 1937.

(2) ROBELIN (M.), COPPENET (M.) et HELIAS (Mme). — Etude et cartographie des sols d'une commune des Côtes-du-Nord, Loguivy-Plougras. *Annales Agronomiques*, p. 433-465, 1957.

(3) BOISCHOT (P.) et HERVIAUX (J.). — Résultats non publiés.

(4) AUBERT (G.) et DUCHAUFOUR (PH.). — Projet de classification des sols, 6e Congrès International de la Science du sol, commission V, nº 97, p. 597-604, Paris 1956.

(5) JORET et MALTERRE : Migration de l'acide phosphorique au cours des processus de podzolisation. *C. R. Ac. Agr.* p. 943, 1935.

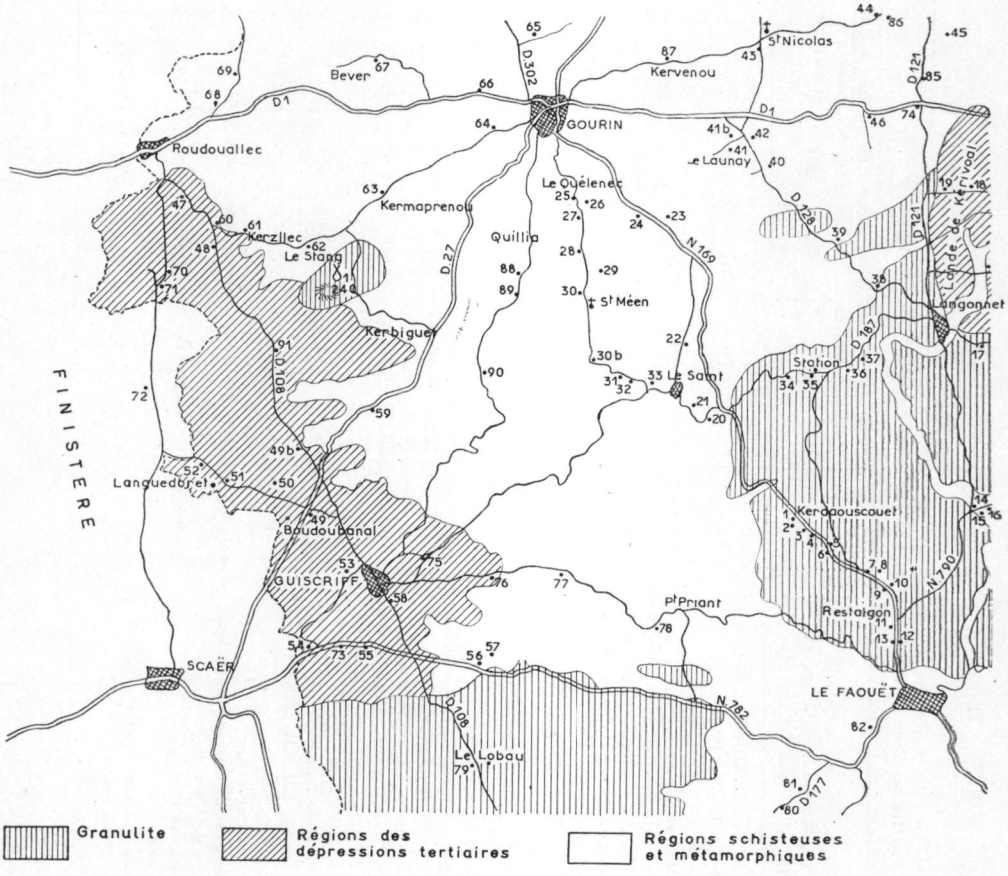
(6) COPPENET (M.) et CALVEZ (Mme J.). — *Ann. Agron.*, **3**, 354, 1952.

(7) BITTEL (R.). — *Ann. Agron.*, **1**, 91, 1957.

(8) COPPENET (M.) et JOLIVET (E.). — *C. R. Ac. Agr.*, **38**, 691, 1952.

(9) PONCHET (J.) et COPPENET (M.). — Le faciès breton du piétin échaudage Sté française de Phytiatrie et de Phytopharmacie. Séance du 15 mai 1957. **6**, 157-164 1957.

(10) GUNTZ (M.) et COPPENET (M.). — Essais de traitement contre la gale commune de la pomme de terre. Sté française de Phytiatrie et de Phytopharmacie. Séance du 15 mai 1957. **6** ,187-194, 1957.



CARTE 2.

Emplacement des principales stations étudiées au cours de l'étude (Voir les Tableaux I, II, III, IV, V, VI pour les résultats des analyses mécaniques correspondantes).
Carte dessinée au 1/80 000eme mais reproduite ici au 1/160 000eme.

TABLEAU I - MASSIF GRANULITIQUE DU FAOUET . (1° partie)

Route de Gourin au Faouet N 169 N° de la Station (voir carte au 1/80.000, Carte n°2 , p. 247) OBSERVATIONS	Profondeur cm	Terre fine %	en % de terre fine séchée à l'air . Argile	Limon	Sables fins	Sables grossiers	Matières organ. totales	pH
1 - Champ cultivé : exploitation de M. COSQUER très noir à Kerdaouscouet - La Faouët granulite compacte au delà de 30 cm.	0 - 20	83.0	13.25	23.75	34.3	18.2	7.1 %	7.0
	20 - 30	74.0	11.0	26.25	35.4	18.35	4.5	6.3
2 - Champ cultivé : même exploitation mais zone beaucoup plus profonde encore très humifère couleur beige	0 - 20	81.6	13.5	20.25	30.36	21.7	9.9	6.0
	30 - 50	80.0	14.5	23.0	36.48	18.2	5.1	4.7
	80 -100	80.7	8.75	21.75	40.9	21.25	4.25	4.8
3 - Près d'une ancienne carrière de sable - arène à 70 cm	0 - 20	78.0	14.75	25.75	28.4	17.75	9.0	5.6
4 - Champ cultivé ; profondeur meuble env. 1 m très noir	0 - 30	85.0	15.0	20.25	31.5	21.0	8.4	5.1
5 - Champ cultivé 4 km 200 au Nord du Faouët, Est de la route, - profondeur 50 cm	0 - 20	80.0	15.75	21.0	32.25	20.0	7.6	5.1
6 - Champ cultivé, Ouest de la route, bas de pente, profondeur 100 cm	0 - 25	88.4	15.75	28.25	24.8	17.5	9.6	5.3
7 - Champ cultivé, 100 m au Sud de la route de Langonnet. Est de la route l' arêne est à 70 cm couche noire humifère sablo-limoneux	0 - 25	79.7	16.75	22.5	21.9	27.35	8.1	5.8
	40 - 50	72.0	12.25	17.75	31.8	27.25	6.9	5.05
8 - Même champ, partie haute, arêne vers 60 cm; roche compacte vers 90 cm. humifère noir limoneux beige arêne	0 - 20	77.3	13.25	18.75	35.4	20.75	8.9	5.9
	30 - 50	80.3	11.5	22.0	39.6	17.75	5.6	5.4
	60 - 80	57.8	5.75	9.25	26.3	51.25	4.8	5.35
9 - Champ cultivé, 3 km au Nord du Faouët roche compacte vers 1 m	0 - 25	81.6	14.5	21.25	31.4	21.1	8.65	6.1
10 - Champ cultivé : exploitation de M. LE SOLLIEC Cosquéric à Le Faouët roche compacte vers 50 ou 60 cm.	0 - 25	78.7	15.0	17.5	32.65	23.0	8.5	5.1
11 - Profil de la carrière d'arêne granulitique de Restalgon - voir Chapitre I - Etude pédologique, page 226								
12 - Champ cultivé , 1 km au Nord du Faouët (près route de Ste Barbe) arêne ou roche compacte vers 1 m	0 - 25	82.6	17.25	16.0	33.1	21.5	8.05	4.8
13 - Champ cultivé, même situation mais à l'Ouest de la route roche compacte à 40 cm.	0 - 25	79.5	18.5	17.25	33.35	19.85	7.7	5.3

TABLEAU I - MASSIF GRANULITIQUE DU FAOUET . (fin)

Route du Saint à Langonnet D 187 — N° de la Station (voir carte au 1/80.000, Carte n°2, p. 247) — OBSERVATIONS		Profondeur cm	Terre fine %	en % de terre fine séchée à l'air: Argile	Limon	Sables fins	Sables grossiers	Matières organ. totales	pH
34 - Champ cultivé en sommet de pente roche compacte de 25 à 40 cm		0-20	79.0	14.5	20.5	26.05	25.0	9.85	5
35 - Champ cultivé près de l' ancienne gare du Saint profondeur : 80 cm		0-25	80.0	17.25	20.5	31.6	19.25	8.3	5.1
36 - Champ cultivé 200 m à l' Est de l'embranchement de la route de Saint Jean	noir	0-25	78.5	16.0	19.5	31.6	22.5	8.7	5.35
arène à partir de 80 cm	beige	45-60	77.5	19.0	25.0	33.5	16.0	3.2	5
37 - Profil sur granulite compacte (voir photo n° 6) petit chemin à l'Est de la route à 50 m de la D 187									
17 - Route du Moulin de Lopriac à Langonnet	noir	0-35	77.5	17.5	19.25	25.8	23.5	9.85	4.2
environ 3 km Est de Langonnet	limon de colluvionnement ocre	60-80	84.6	10.0	23.75	33.4	26.5	4.0	4.85
Fond de vallée - Confluent de la rivière de Langonnet et de l' Ellé (N 790) .									
14 - Champ cultivé à 30 m du ruisseau	couche humifère	0-25	97.0	14.0	18.25	39.0	20.25	6.25	4.8
plan d'eau à 1 m	encore humifère	30-50	96.6	17.0	13.0	42.6	21.5	3.7	4.8
	couleur claire	65-85	98.8	16.0	17.25	51.35	12.75	1.55	5.0
15 - Champ cultivé 250 m Est du pont	couche très noire	0-25	91.4	15.0	14.75	47.4	15.85	4.9	5.4
à partir de 60 cm on trouve un sable jaune avec cailloux émoussés de quartz et granulite visible au bord de la route.	sable jaune	60-80	73.9	3.75	29.5	48.75	14.1	2.38	5.1
Massif granulitique au Sud de Guiscriff .									
79 - D 108 , 5 km S.E. de Guiscriff, Profil décrit p. 224 photo n° 7.									

TABLEAU II. — *Schistes de St-Lo (Région au Sud de Gourin).*

Nº de la Station	Observations Diverses routes arrivant à Gourin (Ouest, puis Sud et Est)	Profondeur cm	Terre fine %	En % de terre fine séchée à l'air					pH
				Argile	Limon	Sables fins	Sables grossiers	Matières organ. totales	
	D 1								
66.	Champ cultivé à 41,5 km de Quimper. Terre ayant bon aspect couleur brun chocolat, beaucoup moins noire qu'en région granitique. Présence de schistes bleus dans les graviers	0-20	97,5	16,25	35,75	33,3	4,5	6,8	5,1
67.	Champ cultivé, près village de Bever. Aspect d'une terre assez lourde	0-20	94,3	21,5	38,75	18,9	10,0	8,0	5,1
68.	Champ cultivé, carrefour D 1 et route de Spézet, présence de nombreux petits cailloux de quartz et schistes	0-20	88,6	17,0	32,5	34,0	5,0	9,5	5,1
69.	Champ cultivé 500 m plus au Nord, au pied de la barre gréseuse, présence de nombreux petits cailloux de quartz ; très belles cultures	0-20	86,2	18,0	46,5	21,8	3,5	8,55	5,65
64.	Champ en pente, échantillon prélevé à mi-pente	0-20	95,7	20,5	38,5	22,8	7,5	7,5	5,85
63.	Champ appartenant à M. Josse, Goffiou en Gourin ; très bon aspect, profil uniforme, jusqu'à 60 cm ; étudié chapitre Étude pédologique, p. 230	0-20	95,7	18,5	32,75	32,3	5,25	8,5	5,8
62.	Petite tranchée en bordure de route	0-20	86,2	17,5	32,75	32,0	9,0	6,0	4,45
61.	Champ cultivé près village de Kerzlec. Dans la tranchée bordant la route ; sous-sol beige au-dessus de schistes tendres bleus	25-50	95,0	18,5	40,75	28,25	5,0	5,05	5,4
	D 27								
59.	Champ très en pente dominant la route	0-15	96,6	19,0	15,75	42,0	12,0	8,4	5,75
88.	(Près du village de Quilliòu). Champ cultivé, bon aspect. Des cailloux de quartz sont visibles à la base des talus, mais pas de schistes. Situé en sommet	0-20	79,0	17,1	29,6	38,75	6,45	5,2	5,2
89.	Champ cultivé, 500 m plus bas en approchant de la vallée, schistes bleus visibles dans la tranchée de la route	0-20	93,3	19,5	27,1	35,8	6,35	7,55	5,2
90.	Champ cultivé. Situé en plateau, cote 179, près d'un transfo	0-20	97,0	17,25	27,1	38,75	4,7	8,65	5,6
25.	Prairie 500 m au Sud du village. Le Quellenec. Profil étudié p. 230								
26.	Champ cultivé, Est de la route à 100 m du nº 25, les schistes bleus décomposés apparaissent vers 60 cm	0-20	96,0	14,0	42,75	25,7	4,5	7,9	5,1
27.	Prairie en bas de pente assez forte	0-20	95,0	12,25	40,75	31,4	6,0	5,9	5,35
	Les schistes décomposés apparaissent vers 85 cm	20-40	95,0	13,0	38,25	32,4	6,9	4,2	5,85
28.	Champ cultivé en remontant, pente faible	0-25	94,0	14,25	25,25	44,25	5,0	6,1	5
29.	Champ cultivé situé en plateau, vers 70 cm existe un horizon plus compact et ferrugineux	0-25	96,0	17,25	32,75	33,5	3,85	8,4	5
30.	Champ cultivé en pente faible 300 m avant la chapelle de St-Méen, profil étudié p. 230								
24.	N 169, Champ cultivé sur le plateau 3 km au Sud-Est de Gourin, terre cultivée de bon aspect	0-25	93,7	11,25	33,0	41,85	3,5	8,0	5,4
23.	Champ cultivé 3 km 800 au S.-E. de Gourin, couleur brun chocolat ; le schiste décomposé apparaît dès 45 cm de prof.	0-20	98,0	16,25	22,5	47,75	5,0	6,6	5,05
		20-40	57,7	14,75	24,75	44,65	10,1	4,2	4,9
22.	Champ cultivé 1 km au Nord du Saint, bon aspect	0-20	95,5	14,75	24,75	44,1	8,35	6,2	5,65
42.	Champ cultivé en bordure du chemin D 128, près carrefour allant à Le Launay. Les schistes bleus apparaissent, mous, à 60 cm	0-20	96,0	15,5	36,0	31,1	4,0	9,7	5,5
		30-45	96,7	18,5	45,0	16,0	16,5	2,0	5,4
87.	Champ cultivé, 2 km 5 N.-E. de Gourin, bon aspect, sous-sol constitué par des schistes bleus, très tendres	0-20	79,0	20,25	36,5	25,5	6,95	6,85	5,6

TABLEAU III - REGION DES CAILLOUTIS DE GOURIN (à l'Est de cette ville) .

N° de la Station .	Profondeur cm	Terre fine %	en % de terre fine séchée à l'air					pH
			Argile	Limon	Sables fins	Sables grossiers	Matières organ. totales	
40 - D 128 , Friche venant d'être retournée. On aperçoit des zones cendreuses et des zones ferrugineuses témoignant de l'existence d'un podzol. Présence de nombreux cailloux de quartz et de granite .	0-20	72.5	12.5	13.75	44.65	17.5	7.0	5.35
41 bis - Chemin vers Le Launay , champ cultivé sur podzol, décrit au Chapitre Etude pédologique, page 232								
43 - Route près de St Nicolas, champ très caillouteux, sous-sol constitué par d'innombrables petits cailloux roulés .	0-20	80.0	13.25	35.5	31.75	10.5	7.2	5.5
44 - Est de St Nicolas, champ cultivé sur schistes rouges, tendres. Nous ne sommes plus ici sur le cailloutis .	0-20	76.7	18.75	33.75	28.9	8.0	8.2	5.85
86 - 300 m Ouest du carrefour avec D 121. Podzol sur cailloutis décrit p. 232 Champ cultivé au Sud de la route.	0-20	65.0	9.25	27.35	41.5	8.75	10.6	5.1
45 - D 121. Champ cultivé sur schistes rouges humifère apparaissant vers 80 - 90 cm. beige bonne structure	0-25 25-60	89.0	15.25	30.75	35.3	6.25	10.1	5.8
85 - Champ cultivé, 800 m au Nord de la D 1 , sur cailloutis visibles à la base de la tranchée de la route	0-20	85.5	15.25	21.5	41.9	9.1	8.75	4.55
74 - Carrefour D 1 et D 121 sur schistes appa- très noir raissant vers 1 m de profondeur. Présence beige meuble de petits cailloux de quartz.	0-25 40-60	94.3 98.8	15.75 18.0	11.0 18.0	49.6 46.9	12.0 12.5	9.1 2.5	6.2 4.85
46 - D 1 à 7 km 5 de Gourin, assez bon aspect. Présence de cailloux de quartz .	0-20	87.0	14.5	25.0	38.3	10.0	9.7	5.7

TABLEAU IV - REGIONS DES DEPRESSIONS TERTIAIRES (1° partie)

N° de la Station — OBSERVATIONS	Profondeur cm	Terre fine %	en % de terre fine séchée à l'air: Argile	Limon	Sables fins	Sables grossiers	Matières organ. totales	pH
Entre Roudouallec et Guiscriff (régions plates, très humides)								
47 - Champ cultivé, sous-sol de couleur rouille très argileux jusqu' à plus de 70 cm présence de petits cailloux quartzeux roulés . — très noir, très humifère	0-20	84.0	23.75	34.75	19.4	8.5	9.9	5.5
rouille, avec taches blanches	20-40	80.8	21.0	32.0	37.4	5.0	2.5	4.9
48 - Champ cultivé, profil décrit au Chapitre Etude Pédologique	p.231							
70 - Champ cultivé. Plan d'eau se trouvant fréquemment dans la zone 35 cm à 1 m — très noir	0-15	100.0	16.25	27.75	28.3	2.5	20.0	4.6
gris sableux	15-35	97.1	16.0	31.75	47.2	2.75	1.0	4.55
gley argileux	40-80	97.1	12.0	34.0	47.0	3.5	2.0	4.05
91 - Champ cultivé, embranchement de Kergonan . Pas d' analyse, mais analogue au n° 49 .								
49 - Carrefour D 27 et route de Guiscriff. Voir Etude pédologique	p.231							
53 - Prairie humide près du cimetière de Guiscriff — humifère	0-20	96.0	12.25	17.5	43.4	15.0	8.7	5.1
plan d'eau à 50 cm au moment du prélèvement — blanc	20-40	91.0	13.75	21.0	55.1	9.0	1.0	5.2
plus argileux Rouille (gley)	50-80	89.3	18.5	17.5	50.5	11.0	1.0	5.3
58 - 1 km du Bourg de Guiscriff - zône non hydromorphe — humifère brun	0-25	94.0	17.5	32.25	34.5	4.0	8.0	4.9
beige meuble	15-65	92.5	21.0	23.75	43.0	9.0	1.6	4.8
couleur rouille	90-100	93.0	28.0	18.25	41.0	11.2	0.4	4.85
55 - N 782 à 13 km Ouest du Faouët - Prairie — noir	0-20	97.0	21.5	25.0	44.0	8.0	9.5	5.6
beige jaune	20-45	95.0	23.0	24.25	41.4	8.5	0.6	4.9
rouille	45-75	95.0	20.0	24.5	44.25	8.25	1.3	5.0
73 - Bordure de N 782 - Champ très humide, présence de joncs, labouré quelquefois; Humus très noir. Rapport C/N = 20	0-20	96.5	16.75	23.0	35.35	8.0	12.95	4.25
Lande de Kérivoal au Nord de Langonnet .								
18 - Champ du Manoir de Kérandouic - prairie humide — noir	0-15	98.2	13.5	28.25	27.7	15.75	10.6	4.7
plan d'eau à 20 cm au prélèvement — gley sablo-argileux, traces rouilles	15-35	96.0	15.75	18.75	43.2	20.6	0.7	5.0
19 - zone plus élevée, non hydromorphe - arène granitique à 50 cm - granulométrie type de la granulite .								
83 - Champ cultivé probablement humide à certaines périodes	0-20	93.0	17.9	22.1	31.2	17.8	7.2	5.2
84 - Station non visible sur la carte n° 2 , champ cultivé appartenant à M. GUERZIDER, Calaren, à Langonnet, bon aspect	0-20	92.0	18.9	21.7	31.9	18.25	6.05	6.1

TABLEAU IV - REGIONS DES DEPRESSIONS TERTIAIRES (fin)

N° de la Station — OBSERVATIONS		Profondeur cm	Terre fine %	en % de terre fine séchée à l'air					pH
				Argile	Limon	Sables fins	Sables grossiers	Matières organ. totales	
Affleurements de schistes micacés sur certains sommets									
71 - Sommet dominant le village de Brénélou, à la limite du Finistère. Champ cultivé, non aspect, sol brun acide sur schistes micacés tendres apparaissant vers 50 cm		0-20	98.0	15.25	29.75	35.6	7.5	9.1	4.9
		40-60	87.5	11.0	25.5	36.1	22.2	3.6	5.0
52 - Près du village de Langueddret, à 100 m de la limite du département du Finistère. Champ cultivé, terre de couleur brun chocolat, carence en Manganèse sur mélange Orge + Avoine, en 1957		0-20	94.1	13.0	19.75	39.25	15.0	9.4	6.7
51 - Champ cultivé - Situation en sommet. présence des schistes micacés tendres au-delà de 60 cm.	couche arable	0-20	93.4	18.0	22.75	32.9	11.0	11.2	5.9
	sous-sol	50-60	84.7	15.25	19.5	36.8	22.5	4.3	4.7
50 - Prairie située en sommet	humifère	0-20	96.0	23.0	24.5	35.75	6.25	8.0	5.1
	ocre	20-50	94.3	15.0	19.75	57.3	5.0	0.9	4.8
blanc, petits cristaux de micas, aspect soyeux		60-80	98.1	17.75	21.0	53.7	7.5	0	4.8
49bis - Champ cultivé - Bon aspect - Schistes micacés visibles dans les tranchées. Pas d'analyse, mais analogue aux précédents.									
54 - Champ cultivé en bordure de la N 782 au carrefour du V.O 6; zone plate et basse	assez humifère sablo-limoneux	0-20	97.0	19.5	23.75	35.7	8.0	10.3	6.5
mais non hydromorphe. Présence d'une carence en Manganèse sur Avoine en 1957. Schistes micacés vers 70 cm	beige friable	20-50	95.7	22.5	28.75	39.1	6.5	1.45	5.4

TABLEAU V. — *Zones métamorphiques.*

N° des Stations — Observations — Région du Saint, d'Ouest en Est	Profondeur cm	Terre fine %	en % de terre fine séchée à l'air — Argile	Limon	Sables fins	Sables grossiers	Matières organ. totales	pH
a) Schistes micacés et feldspathisés passant à des types de roches gneissiques ($x_{11}\gamma_1$ de la carte géologique) ceinturant le massif granulitique du Faouët.								
30 *bis*. Lande en pente dans le grand virage descendant dans une vallée très encaissée. 0-20 cm humifère très noir	40-50	60,7	14,75	18,75	40,8	18,5	4,4	5,5
31. Lande en pente sur roche gneissique décomposée	0-20	89,0	14,0	20,25	35,1	18,0	8,2	5,4
32. Champ d'ajoncs situé en sommet. Couche arable très noire	0-20	90,0	11,0	16,0	41,9	16,5	9,6	6,5
33. Belle coupe sous prairie. 0-25 Horizon A_1 noir : 25-60 zone ocre sans structure avec accumulation du fer ; 60-80 zone dure plus claire avec accumulation d'argile ; au-delà de 80, une arène très fine.	0-25	96,0	10,25	17,25	44,0	14,5	9,5	5,4
21. Champ cultivé, assez bon aspect :								
Humifère	0-25	87,1	15,75	18,0	35,4	17,75	9,4	5,6
Beige argileux	25-50	93,0	16,75	19,25	39,37	20,0	3,4	5,3
Schistes micacés décomposés	60-90	82,0	9,75	10,5	55,75	20,6	2,4	5,2
20. Verger, 1 km Ouest de N 169 argile micacée vers 60 cm.								
Humifère	0-20	91,1	15,25	18,5	41,9	15,5	6,4	5,8
Argileux au toucher	25-45	89,0	13,5	17,0	33,1	32,5	2,4	5,9
Nord-Ouest de Langonnet, sur D 128								
38. Champ cultivé en sommet	0-20	69,0	16,75	17,5	38,3	11,0	13,7	5,3
39. Champ cultivé à l'entrée de la forêt. Bonne terre profonde	0-25	93,0	15,5	15,5	41,75	18,0	6,3	5,2
Région Sud du Faouët								
82. Champ cultivé 1 km S.-O. du Faouët	0-15	97,0	16,0	18,0	31,7	22,15	8,56	5,4
81. 1 km au Nord de Lanvénégen en bordure de D177, champ cultivé. Nombreuses paillettes de mica sont visibles. Terre paraissant assez lourde, couleur brune	0-20	93,75	17,1	21,1	29,0	23,95	6,1	6,1
80. Sud de Lanvénégen, près cimetière, terre cultivée	0-15	94,0	19,5	19,0	28,8	23,3	6,24	5,7
b) Schistes micacés staurotidifères ($x_1\gamma_1$ de la carte géologique) au Nord du Massif Granulitique de Guiscriff.								
56. Borne Le Faouët 12 km sur N 782 ; sol brun acide sur schistes. Voir photo n° 9 ; sol non cultivé peu humifère	0-25	83,0	12,0	19,75	38,0	22,7	6,2	4,7
57. Champ cultivé à 150 m au Nord :								
Noir humifère	0-20	98,3	16,5	34,25	30,9	5,75	9,4	5,95
Beige jaune	20-40	95,0	22,0	20,5	40,8	16,0	0,2	5,25
Pâte blanche, aspect soyeux	45-75	97,5	20,25	25,5	38,0	16,0	0,1	4,95
76. Champ cultivé 2 km 5 environ Est de Guiscriff, vers Pt Priant. Assez bon aspect	0-20	94,7	21,9	22,1	41,75	5,7	5,95	6,2
77. Talus 4 km Est de Guiscriff. Les schistes à micas très fins sont blancs à bleuâtres au-delà de 50 cm couleur beige	25-50	83,6	9,9	18,1	52,5	19,35	4,4	4,8
78. Grande tranchée 800 m Ouest du Pt Priant. Lande en pente sur micaschistes tantôt durs, tantôt friables ; analysé le sous-sol	70-80	95,0	9,25	16,1	44,0	26,1	3,0	4,7

Tableau VI

Points de prélèvements non classés dans les catégories ci-dessus

N° des Stations	Observations	Profondeur cm	Terre fine %	En % de terre fine séchée à l'air					pH
				Argile	Limon	Sables fins	Sables grossiers	Matières organ. totales	
60.	2 km S.-E. de Roudouallec, route de Gourin (limites schistes, Pb). Champ cultivé, bon aspect, meuble jusqu'à 80 cm, non hydromorphe, présence de cailloux émoussés :								
	Humifère	0-20	93,4	16,5	23,75	40,35	6,0	10,3	5,85
	Beige	25-60	88,5	21,75	30,25	17,8	26,0	2,0	5,45
72.	Champ cultivé appartenant à M. Le Gall, Crénorien en Scaër (Finistère). Non hydromorphe. (Champ de comportement de variétés de Blés, en 1957, pour la D.S. A. de Quimper)	0-20	97,7	16,75	29,75	34,95	4,0	10,35	6,75
75.	Profil sur poudingue, 1 km Est de Guiscriff. Situation en sommet. Les blocs de poudingue sont visibles à certains points du sous-sol :								
	Horizon A_1 noir humifère	0-25		non analysé					
	Horizon B_1 beige limoneux	25-80	95,7	19,4	21,75	40,3	12,65	3,17	5,1
	Horizon B_2 cailloux roulés, non cimentés, riche en fer	80 100	55,8	12,4	10,0	32,25	40,5	2,95	5,2

QUELQUES ANALYSES D'AMENDEMENTS ORGANIQUES AUTRES QUE LES FUMIERS DE FERME (1)

PAR

E. JOUIS et E. HANGARD

Station agronomique, Rouen.

INTRODUCTION

Dans une étude récemment parue dans les Annales Agronomiques nous avons présenté une importante série d'analyses de fumiers en provenance de diverses régions de France, étude dont l'origine remonte à l'enquête de l'Assemblée des Présidents des Chambres d'Agriculture de 1955.

Dans ses réunions consacrées aux engrais de ferme, l'Assemblée des Présidents avait aussi évoqué les amendements humiques autres que le fumier et en particulier les engrais organiques du commerce.

Au cours de nos travaux sur les fumiers, nous avons pu analyser un certain nombre d'amendements et/ou engrais organiques.

Ce sont les résultats de cette étude parallèle, augmentée d'un certain nombre d'analyses antérieures, moins complètes, que l'on trouvera ci-dessous.

Méthodes d'analyse

Dans l'ensemble, les méthodes utilisées sont celles mentionnées dans l'étude sur « les fumiers français «. Les analyses plus anciennes furent exécutées par des méthodes classiques et exactes.

Amendements analysés

Les produits analysés sont indiqués dans le tableau I ci-dessous.

Ce tableau comporte également les principaux dosages effectués sur le produit à l'état normal.

Le tableau II comporte les mêmes résultats rapportés à la matière sèche :

Rapport matière sèche-matière organique

L'examen de ces tableaux montre tout d'abord une très grande diversité dans la teneur en eau. Certains produits sont presque sec à

(1) — Cette étude fait suite à celle publiée sur les fumiers *(Ann. agr)*.

TABLEAU I

COMPOSTS - TERREAUX - GADOUES
BOUES D'EPURATION - DIVERS

			% de l'état normal					°/₀₀ de l'état normal		
N° analyse.	Origine	pH	CO_3Ca	Hum.	Mat. org.	Mat. min. totale	Sable & Silice	N	P_2O_5	K_2O
420	Compost		5.8	19.5	16.4	64.1		3.9	5.1	
444	Engrais organique		17.7	2.8	10.5	86.7		4.0	6.4	
452	- d° -		15.6	1.6	9.8	88.6		3.1	4.3	
557	Gadoue de ville			8.0	24.5	67.5		6.0	5.9	7.0
1296	Compost		2.0	36.2	9.1	54.7		3.2	2.7	5.4
1318	Engrais organique			11.1	19.2	69.7		5.5	6.9	9.1
6302	Terreau			19.3				6.0	4.0	4.0
6467	Gadoue ville (Alger)	9.1		24.7				1.0	15.4	10.6
7794	Terreau gadoue		(9.0)	3.8				5.1	5.8	2.1
8277	Compost			23.4				4.0	4.7	1.7
8581	Criblage gadoue (Rouen)							4.4	5.1	
9047	Gadoue ville (Dieppe)	alc.	(16.0)	3.9	27.8	68.3		5.3	6.8	3.4
9264	Criblage gadoue		4.0					3.7	12.7	6.5
9275	Engrais organique		1.1	35.4	26.7	37.9		2.3	1.5	2.2
9475	Terreau marc raisin			60.9	31.6	7.5	2.3	14.2	5.1	12.7
9772	Poudreau gadoue (Lille)		8.1	13.0	32.2	54.8		4.4	6.4	5.0
9948	Engrais organique							4.8	6.1	9.1
9958	Compost		9.3					7.3	4.5	7.7
9997	Engrais organique		26.0					4.6	8.3	3.8
15523	Paille blé			18.3	74.2	7.5	5.0	3.5	3.1	1.6
18790	Boue Sté Epuration I		6.6	19.3	19.5	61.2	42.0	13.6	7.7	6.0
18821	- d° - E	8.0	0.2	96.0	2.6	1.4	0.7	1.8	0.9	0.2
20028	Terreau vidanges	4.1		68.3	25.7	6.0	3.3	7.2	2.6	1.1
20041	Gadoues brutes (Paris)		5.4	27.6	24.4	48.0	27.8	5.6	5.1	3.5
20204	Boues Camp Américain	5.7	(4.0)	2.7	23.0	74.3	56.7	13.4	12.4	1.7
20223	Boue liquide Sté Epuration	7.5	0.3	96.1	2.2	1.7	0.9	1.3	1.4	0.1
20279	Terreau pulpe raison, etc...	9.0	2.0	47.2	35.0	17.8	2.6	17.7	37.6	17.0
20415	Terreau tourbe & tourteaux	7.3	1.3	50.5	26.3	23.2	14.8	8.4	7.7	6.9
$R_1$302	Terreau gadoue Avignon	8.0	8.0	3.1	30.2	66.7	41.3	5.5	4.9	12.5
$R_1$303	- d° - (Crau)	7.5	13.4	6.1	24.9	69.0	33.4	7.4	8.5	6.6
$R_1$312	Terreau vidange, Tourbe	6.8		19.3	46.3	34.4	16.5	14.7	8.4	2.8
$R_1$362	Goëmon	6.9	1.8	48.6	29.8	21.6	2.3	8.2	3.5	32.0

TABLEAU II

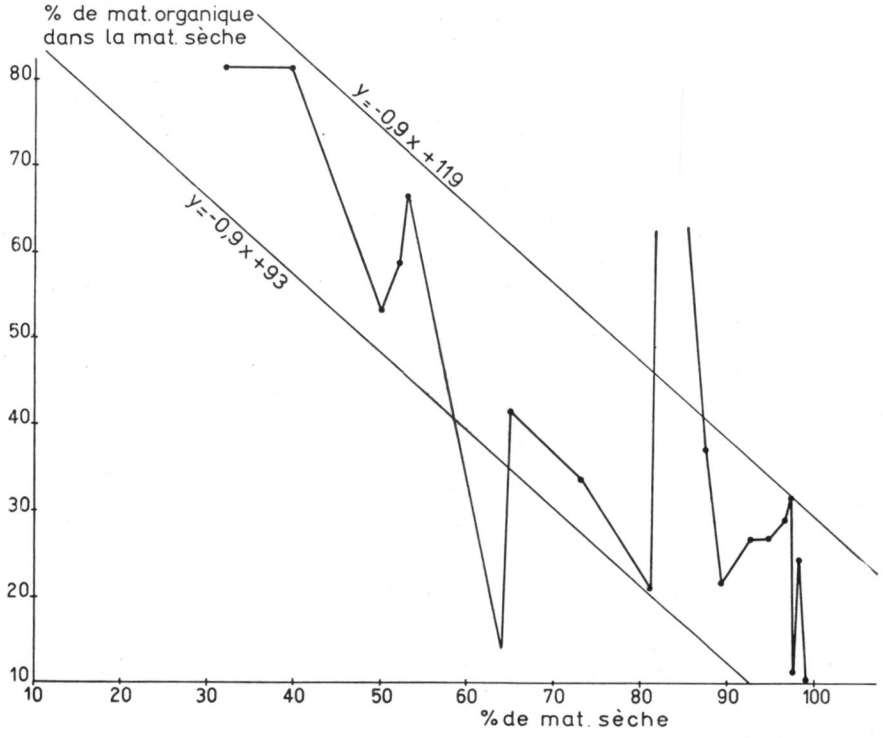
COMPOSTS - TERREAUX - GADOUES
BOUES D' EPURATION - DIVERS

N°analyse	Origine	Mat. sèche		Pour cent de sec à 100°					
			CO_3Ca	Mat. org.	Mat. min. totale	Sable et silice	N	P_2O_5	K_2O
420	Compost	80.5	7.2	20.4	79.6		0.48	0.63	
444	Engrais organique	97.2	18.2	10.8	89.2		0.41	0.66	
452	- d° -	98.4	15.8	10.0	90.0		0.31	0.44	
557	Gadoue de ville	92.0		26.6	73.4		0.65	0.64	0.76
1296	Compost	63.8	3.1	14.3	85.7		0.50	0.42	0.85
1318	Engrais organique	88.9		21.6	78.4		0.62	0.78	1.02
6302	Terreau	80.7					0.74	0.50	0.50
6467	Gadoue ville (Alger)	75.3					0.13	2.05	1.41
7794	Terreau gadoue	96.2	(9.4)				0.53	0.60	0.22
8277	Compost	76.6					0.52	0.61	0.22
8581	Compost								
9047	Gadoue ville (Dieppe)	96.1	(16.7)	28.9	71.1		0.55	0.71	0.35
9264	- d° -								
9275	Engrais organique	64.6	1.7	41.3	58.7		0.36	0.23	0.34
9475	Terreau marc raisin	39.1		80/8	19.2	5.9	3.63	1.30	3.25
9772	Poudreau gadoue (Lille)	87.0	9.3	37.0	63.0		0.51	0.74	0.57
9948	- d° -								
9958	- d° -								
9997	- d° -								
15.523	Paille blé	81.7		90.8	9.2	6.1	0.43	0.38	0.20
18790	Boue Sté Epur. (Isigny)	80.7	8.2	24.2	75.8	5.2	1.69	0.95	0.74
18821	- d° - (Evreux)	4.0	5.0	65.0	35.0	17.5	4.5	2.25	0.50
20028	Terreau vidanges	31.7		81.1	18.9	10.4	2.27	0.82	0.35
20041	Gadoues brutes (Paris)	72.4	7.5	33.7	66.3	38.4	0.77	0.70	0.48
20204	Boue Camp Américain	97.3	(4.1)	23.6	76.4	58.3	1.38	1.27	0.17
20223	Boue liquide Sté Epur.	3.9	7.7	56.4	43.6	23.0	3.3	3.6	0.25
20279	Terreau pulpe raison, etc.	52.8	3.8	66.3	33.7	4.9	3.35	7.12	3.22
20415	Terreau tourbe & tourteaux	49.5	2.6	53.1	46.9	29.9	1.70	1.56	1.40
$R_1$302	Terreau gadoue (Avignon)	96.9	8.3	31.2	68.8	42.6	0.57	0.51	1.29
$R_1$303	Terreau gadoue (Crau)	93.9	14.3	26.5	73.5	35.6	0.79	0.91	0.70
$R_1$312	Terreau tourbe vidanges	80.7	0.0	57.4	42.6	20.4	1.82	1.04	0.35
$R_1$362	Goëmon séché	51.4	3.5	58.0	42.0	4.5	1.60	0.68	6.20

100 p. 100, d'autres sont des boues liquides à 4 p. 100 de matière sèche.

Il est intéressant de rapprocher la teneur en matière organique de la matière sèche. Mis à part les deux boues très liquides et la paille, on constate qu'il y a une nette corrélation inverse entre la teneur en matière sèche et la teneur en matière organique.

Sans vouloir introduire ici une rigueur mathématique que la nature des produits étudiés ne comporte pas, indiquons simplement qu'un



GRAPHIQUE 1. — Amendements organiques. Pourcentages de la matière organique dans la matière sèche.

graphique : matière sèche-matière organique (graphique 1) montre qu'environ 90 p. 100 des résultats sont compris entre deux droites de formules :

$$y = -0{,}9\,x + 93 \qquad \text{et} \qquad y = -0{,}9\,x + 119$$

autrement dit, un amendement à 90 p. 100 de matière sèche peut dans 9 cas sur 10, comprendre de 12 à 38 p. 100 de la matière sèche sous forme organique, alors qu'un amendement à 40 p. 100 de matière sèche peut en comprendre de 57 à 83 p. 100 et cela, qu'il s'agisse de terreau, de compost, de gadoue, ou d'engrais organiques d'origine indéterminée.

En moyenne, une augmentation de 10 p. 100 en matière sèche des

produits amène une chute de 9 p. 100 dans le pourcentage en matière organique de cette matière sèche.

Ceci résulte du fait que les produits peu aqueux sont surtout minéraux, à base de terre sableuse et de carbonate de chaux principalement. C'est en particulier le cas des composts, de boues séchées, de gadoues enrichies en craie, etc.

A l'autre extrémité du graphique : matière sèche/ matière organique, se trouvent les terreaux provenant de fumiers très décomposés, de marcs de raisins purs ou mélangés de tourteaux, etc.

Ces produits sont pauvres en matières terreuses et riches en eau.

Autrement dit, avec les produits très secs, on achète beaucoup de terre et/ou de craie et avec les produits très humides, on achète beaucoup d'eau mais la matière sèche est principalement de nature organique.

Teneurs en éléments fertilisants

Nous avons essayé de relier les teneurs en azote acide phosphorique et potasse aux teneurs en matière sèche.

Un graphique approprié montre de grandes variations de ces trois éléments, mais il est quand même possible de dégager quelques conclusions générales.

Dans l'ensemble, les variations en azote, acide phosphorique et potasse sont grossièrement parallèles.

Les corrélations sont illustrées par les graphiques 2 et 3.

Les grandes variations matières fertilisantes/matière sèche se situent dans la zone « organique » du graphique 1 de 0 à 60 p. 100 en matière sèche.

Dans cette zone où l'on constate parfois de fortes discordances entre les 3 éléments N P K il semble que certains amendements aient été additionnés d'un peu d'engrais potassiques ou phosphatés. On trouve, par exemple 7,12 p. 100 de P_2O_5 sur sec dans un terreau de marc de raisin (20 279) alors qu'un autre (9 475) n'en contient que 1,3 p. 100.

Par ailleurs les terreaux de marc de raisin sont riches en azote et en potasse.

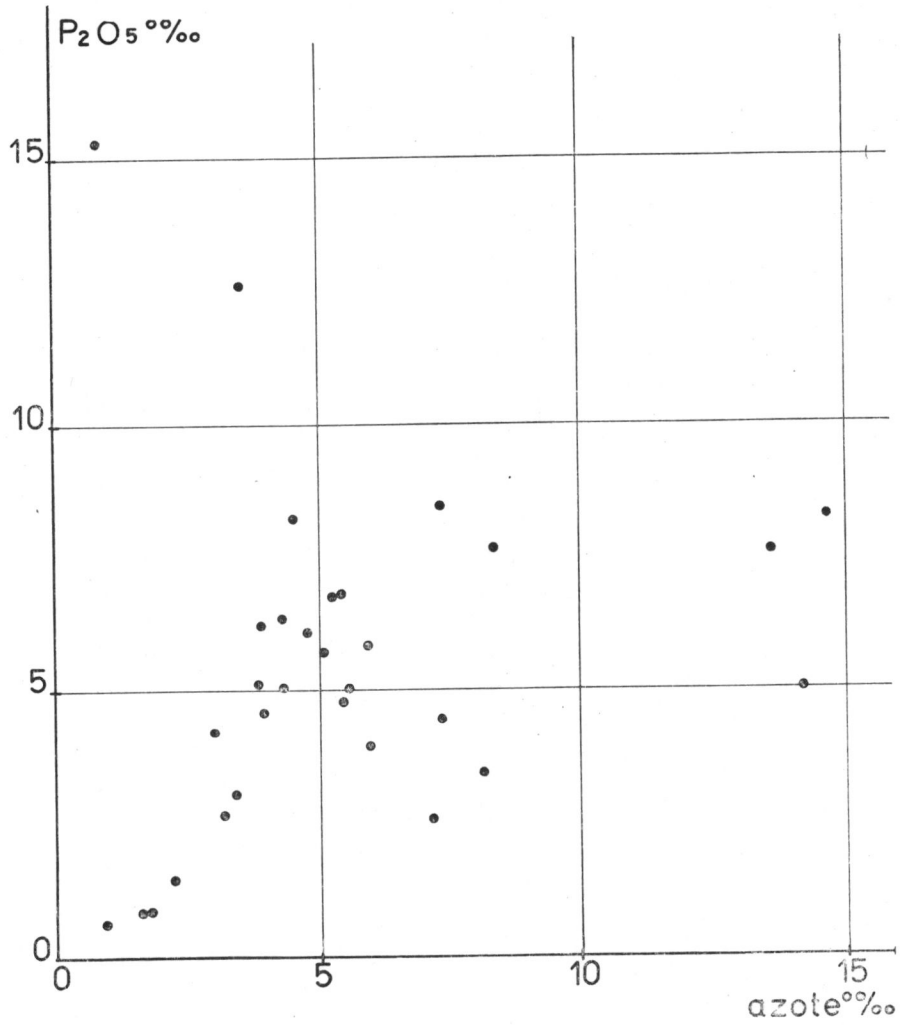
L'amendement goëmon est également riche en potasse. Dans la zone 60 à 100 p. 100 de matière sèche, les teneurs en N P_2O_5 K_2O tendent à se stabiliser entre 0,1 et 1,1 p. 100 de sec, avec rapports variables mais assez étroits entre les trois éléments.

On note cependant une pointe P K pour la gadoue d'Alger (6 467) accompagnée d'une faiblesse en azote, une pointe d'azote pour un terreau de vidange (R 1 312) et une autre pour une boue de camp américain (20 204).

En résumé, les plus fortes teneurs N P_2O_5 K_2O sur sec 1 à 4 p. 100

et plus se trouvent dans les amendements riches en matière organique, mais avec de grandes variations.

Des teneurs plus faibles, généralement inférieures à 1 p. 100 sur sec

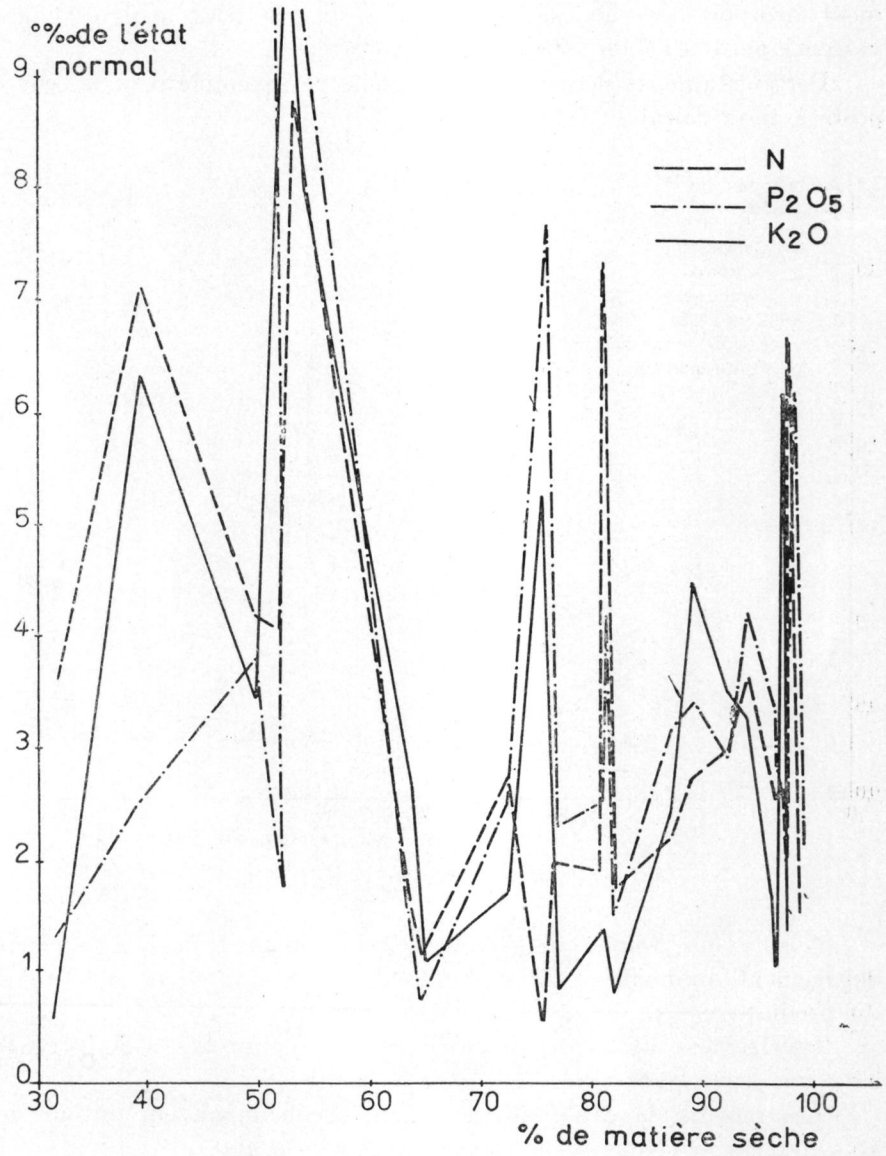


GRAPHIQUE 2. — Composts-Terreaux — Gadoues-Boues épuration.
Corrélation : azote/acide phosphorique (Etat normal).

se rencontrent dans les amendements riches en terre, de plus de 60 p. 100 de matière sèche.

Il y a toutefois quelques exceptions dues à la nature spéciale des amendements, comme par exemple la richesse en azote des terreaux de vidange.

Il faut enfin tenir compte des apports éventuels d'engrais aux gadoues et terreaux.



GRAPHIQUE 3. — Amendements organiques. Variations comparées des Richesses N-P_2O_5-K_2O.

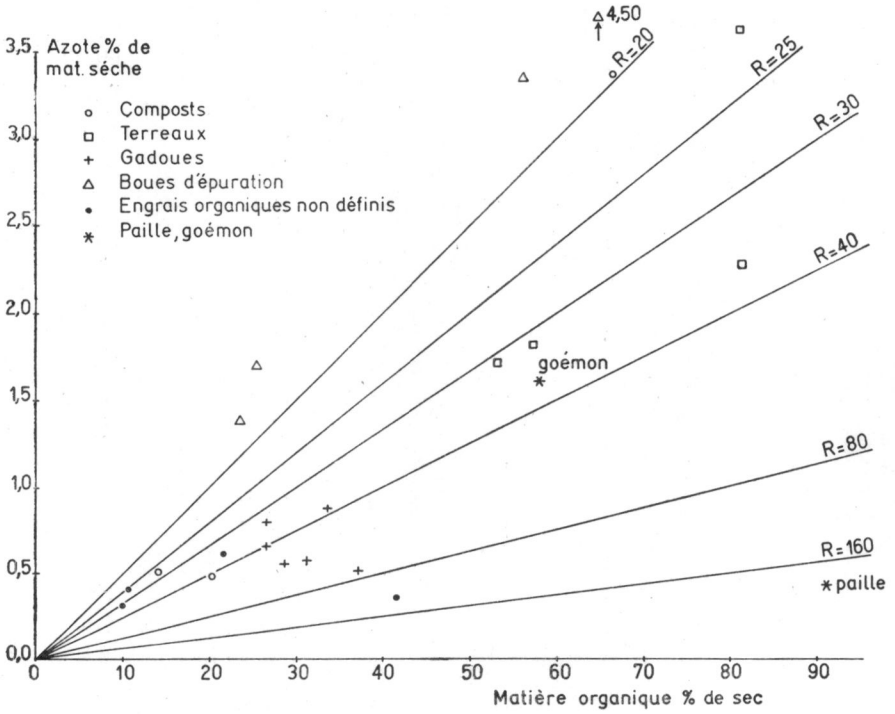
Teneurs en carbonate de chaux — pH

Les teneurs en carbonate de chaux sont très variables et dépendent surtout des apports des fabricants.

La plupart des amendements organiques en contiennent et sont de ce fait plus ou moins alcalins.

Cependant, il n'est pas rare que le carbonate ne soit que grossièrement incorporé avec une masse organique un peu acide malgré l'effervescence nette à l'acide chlorhydrique.

Certains apports peuvent être naturels, par exemple pour les composts à terre calcaire.



GRAPHIQUE 4. — Rapports matière organique /azote.

Nous avons trouvé une gadoue (6 467) fortement alcaline (9,1) par dégagement ammoniacal, avec pauvreté concomitante en azote total du produit.

Inversement, un terreau de vidange (20 028) était très acide (pH 4,1) avec une assez forte teneur en azote total.

Les teneurs en carbonate de chaux oscillent souvent autour de 10 p. 100 sur sec. Nous avons trouvé un cas à 26 p. 100.

État de décomposition de la matière organique

On peut, comme pour les fumiers, apprécier dans une certaine mesure l'état de maturation d'un engrais organique, en faisant le rapport matière organique/azote. Voici les résultats trouvés :

TABLEAU III

COMPOSTS - TERREAUX - GADOUES BOUES D'EPURATION - DIVERS				
Classement par teneurs croissantes en matière organique % sec		% de sec		
N° analyse	Origine	Mat. org.	Azote	M.O/.AZ
452	Engrais organique	10.0	0.31	32.3
444	- d° -	10.8	0.41	26.3
1296	Compost	14.3	0.50	28.6
420	- d° -	20.4	0.48	42.5
1318	Engrais organique	21.6	0.62	34.8
20204	Boue Camp Américain	23.6	1.38	17.1
18790	Boue Sté Epuration(Isigny)	24.2	1.69	14.3
R_1 303	Terreau gadoue Crau	26.5	0.79	33.5
557	Gadoue ville	26.6	0.65	40.9
9047	Gadoue ville (Dieppe)	28.9	0.55	52.5
R_1 302	Terreau gadoue (Avignon)	31.2	0.57	54.7
20041	Gadoues brutes (Paris)	33.7	0.77	43.8
9772	Poudreau gadoue (Lille)	37.0	0.51	72.5
9275	Engrais organique	41.3	0.36	114.7
20415	Terreau tourbe + tourteaux	53.1	1.70	31.2
20223	Boue liquide Sté Epuration	56.4	3.35	17.1
R_1 312	Terreau tourbe vidanges	57.4	1.82	31.5
R_1 362	Goëmon séché	58.0	1.60	36.3
18821	Boue Sté Epuration Evreux	65.0	4.50	14.4
20279	Terreau pulpe raisin, etc..	66.3	3.35	19.8
9475	Terreau marc raisin	80.8	3.63	22.3
20028	Terreau vidanges	81.1	2.27	35.7
15.523	Paille de blé	90.8	0.43	211.2

Pour les fumiers, nous avions établi que les pailles pouvaient fournir un rapport allant jusqu'à 200. Les fumiers très jeunes sont entre 80 et 100 ; les fumiers demi-faits entre 40 et 60 et les fumiers faits au-dessous de 30 sans jamais atteindre 20.

Nous avions remarqué que cette valeur 20 jamais atteinte dans les fumiers analysés, était le rapport normal de la matière organique à l'azote dans les sols de limon du Nord-Ouest.

Dans le tableau III, nous voyons que la paille fournit le rapport élevé de 211. Un engrais organique, sans doute très pailleux à fourni un rapport de 114,7. Notons encore un poudreau de gadoue de 72,5.

D'ailleurs, les autres gadoues ont un rapport relativement élevé, entre 33,5 et 54,7.

La plupart des engrais organiques, composts, terreaux se situent entre 20 et 40.

Enfin, il y a lieu de remarquer les boues des stations d'épuration. Deux boues d'Evreux, analysées à quelques temps de distance ont fourni le même rapport : 17,1. Deux autres boues, dont une d'Isigny ont fourni : 14,3 et 14,4.

Il y a donc une destruction accélérée des composés carbonés de ces boues par rapport aux composés azotés.

Le graphique 4 montre ces rapports matière organique/azote.

Richesses à l'état normal

Il ne faut pas oublier que ce sont les richesses en matière organique et éléments fertilisants qui, en définitive, intéressent l'utilisateur.

Or, les richesses en matière organique, sont très variables, suivant la teneur en eau et surtout en matières terreuses et/ou carbonate de chaux.

Les teneurs en N P_2O_5 K_2O sont également très variables, non seulement du fait de la nature des produits, ainsi que nous l'avons vu en examinant les rapports à la matière sèche, mais aussi par la variation en eau et matières minérales.

Ces variations sont comprises entre 1 et 15 p. 100 environ. On retrouve cependant la stabilité relative des produits riches en matière sèche, c'est-à-dire en terre. A partir de 60 p. 100 de sec, la variation, sauf pointes, se cantonne entre 1 et 9 p. 100.

D'autre part, on note un franc parallélisme entre les 3 éléments mais avec des discordances, comme déjà signalé.

Conclusion

Il est incontestable que les engrais organiques de la ferme, genre composts, ou du commerce, genre gadoues, terreau de vidange, boues

d'épuration, etc... peuvent rendre de bons services aux cultivateurs ou au maraichers quand ceux-ci sont bien placés pour en profiter.

Mais il convient de savoir si le produit, que l'on peut avoir gratuitement ou presque, vaut la dépense du transport, où si l'engrais organique vanté par un représentant ne contient pas surtout de l'eau ou de la terre.

S'il s'agit d'un produit trié, criblé, homogénéisé, le vendeur doit se conformer à la législation sur les engrais et indiquer les teneurs en principes fertilisants ainsi que la provenance. Mais s'il s'agit d'un produit vendu tel quel, en vrac : composts, gadoues, boues, cendres, déchet-divers, le vendeur doit seulement informer au mieux l'acheteur. Celui-ci ne peut pratiquement pas avoir de recours s'il s'est laissé éblouir par des qualités fictives.

Il convient donc d'être prudent et de recourir au besoin à une analyse, après prélèvement contradictoire à la livraison.

Le seul fait d'annoncer cette possibilité de prélèvement à la livraison peut d'ailleurs suffire à clarifier une présentation ambiguë.

L'étude présentée ici permettra à l'analyste de mieux interpréter quelques dosages simples, ce qui, joint aux présomptions tirées de l'aspect du produit, aidera à le classer et à chiffrer sa valeur engrais et amendement.

Reçu pour publication en novembre 1957

RÉSUMÉ

Ce deuxième mémoire est consacré à l'analyse d'amendements organiques autres que les fumiers de ferme.

Ces analyses ont été effectuées pour renseigner les cultivateurs et les maraîchers sur la valeur de certains engrais organiques.

Les auteurs mettent en garde les cultivateurs sur l'efficacité souvent douteuse de divers produits organiques et ils conseillent de faire une analyse, après prélèvement contradictoire à la livraison.

L'étude présentée ici permettra à l'analyste de mieux interpréter quelques dosages simples, ce qui aidera à classer le produit organique et à chiffrer sa valeur en tant qu'engrais et amendement.

SUMMARY

This second report deals with the analysis of organic amendments other than farmyard manure.

The analyses are intended to inform farmers and horticulturists on the value of certain organic manures.

Caution is advised in respect of the often doubtful value of various organic products and it is recommended to have analyses made on samples officially taken at delivery.

The study will be useful for the analyst in interpreting the results of some simple tests and thus help in classifying and evaluating the organic products for use as fertilizer or amendment.

ZUSAMMENFASSUNG

Untersuchung einiger organischen Dünger mit Ausnahme des Stallmistes

Diese zweite Arbeit behandelt die Untersuchung organischer Dünger mit Ausnahme des Stallmistes.

Diese Analysen wurden ausgeführt um den Landwirten und den Gemusebauern Auskunft zu geben über den Wert verschiedener organischen Dünger.

Die Autoren warnen die Landwirte vor der fraghaften Wirksamkeit gewisser organischen Produkte und raten an eine Analyse machen zu lassen nach Probenahme bei der Lieferung.

Diese Arbeit gibt dem Analytiker die Möglichkeit einige einfache Bestimmungen besser auszuwerten, was die Klassifizierung und den Wert des organischen Produktes als Dünger und als Bodenverbesserungsmittel erleichten wird.

Анализы нескольких органических удобрений отличных от навоза.
Руанская Агрономическая Станция (Приморская Сена = Seine-Maritime).
ЖУИС и ХАНГАРД.

РЕЗЮМЕ

Эта вторая работа посвящена анализу органических веществ отличных от обычного навоза.

Эти анализы были сделаны, чтобы дать сведения земледельцам и огородникам о ценности некоторых органических удобрений.

Авторы обращают внимание земледельцев на эффективность часто сомнительную различных органических продуктов и они советуют делать анализ, беря пробу, по определенным законами правилам, при получении заказа.

Представленная здесь работа позволит химику лучше интерпретировать (истолковывать) некоторые простые анализы, позволит отнести данный органический продукт в определенную категорию и определить его ценность как удобрения (engrais) или как улучшителя почвенных условий (amendement).

DOCUMENTATION

I. — MÉTHODES ET TECHNIQUES

A. — Sols.

631. 423. 3 : 546. 18

CHANG (S. C.), et JACKSON (M. L.). — **Fractionnement du phosphore du sol.** (Fractionation of soil phosphorus). *Soil. Sci.*, t. 84, 2, 133-144, 1957.

Les auteurs ont fractionné le phosphore du sol en ses différentes formes suivant leur solubilité dans différents liquides d'extraction. La strengite, la variscite et l'apatite sont utilisées comme contrôle.

Une seule extraction au fluorure d'ammonium neutre dissout les phosphates d'aluminium complètement, les phosphates de fer légèrement et l'apatite très peu pour un rapport terre/liquide d'extraction égal à 1/50.

Les phosphates d'aluminium et de fer sont dissous complètement avec de la soude, l'apatite pas du tout. Par contre avec l'acide sulfurique, l'apatite est dissoute entièrement, les phosphates de fer et d'aluminium pas tout à fait complètement.

Les extractions au fluorure et aux alcalis doivent précéder l'extraction acide si on veut obtenir une séparation complète de ces trois formes de phosphate.

Le phosphate de fer soluble réducteur est obtenu avec un traitement au dithionite-citrate de sodium fait après les extractions au fluorure, alcalis et acides.

Les sols riches en oxydes de fer contiennent parfois une quantité notable de phosphates d'aluminium-fer non extractibles avec du dithionite-citrate.

G. S.

631. 423. 3 : 546. 226 : 631. 671

ASGHAR (A. G.), QAYGUM (M. A.) et RANA (G. M.). — **Une méthode pour l'estimation volumétrique des sulfates dans les sols et dans l'eau d'irrigation.** (A method for volumetric estimation of sulphates in soils and irrigation water). *Soil Sci.*, t. 83, 3, 239-241, 1957.

Les auteurs ont mis au point une méthode volumétrique pour doser les sulfates, basée sur l'emploi de l'éthylènediamine tétraacétique (EDTA) disodique.

Le dosage est fait en milieu alcalin (pH 10) en présence de noir Eriochrome T, F-241. Les sulfates sont précipités sous forme de sulfate de baryum par un excès de chlorure de baryum et l'excès de baryum est titré avec EDTA disodique en utilisant F-241 et quelques gouttes de cyanure de potassium 0,01 N comme indicateur.

On peut ensuite facilement déterminer la quantité de sulfate présente dans le milieu d'après un graphique établi précédemment.

C'est une méthode simple, rapide dont les résultats concordent avec ceux obtenus avec les méthodes gravimétriques.

G. S.

631. 417. — 1. 416 : 545. 844

BROADBENT (F. E.). — **Complexes matière organique du sol-métal : II. Chromatographie des complexes de cuivre et de calcium.** (Soil organic matter complexes. II. Cation exchange chromatography of copper and calcium complexes). *Soil Sci.*, t. 84, 2, 127-131, 1957.

Sur des colonnes à chromatographie contenant des préparations de matière organique du sol sous une forme acide, l'auteur verse une petite quantité d'échantillon saturé en cuivre ou en calcium.

Les colonnes sont ensuite éluées avec de l'acide chlorhydrique de plus en plus concentré et des analyses sont faites avec les élutions.

Les courbes (concentration du cation en fonction du volume du liquide d'élution) indiquent 4 pics pour le cuivre et 2 pour le calcium.

Le premier grand pic, commun à tous les chromatogrammes, serait dû à la rétention par les groupes carboxyl, puisque c'est le seul pic obtenu avec une résine synthétique du type carboxyl (Amberlite IRC-50).

Le cuivre serait retenu par certains groupements qui ne se combinent pas au calcium.

G. S.

546. 41 : 545. 82

ADAMS (F.) et ROUSE (R. D.). — **Emploi d'une résine échangeuse d'anions pour éliminer l'interférence des anions dans la détermination du calcium par le photomètre à flamme.** (Use of an anion exchange resin to eliminate anion interference in calcium determination by flame photometry). *Soil Sci.*, t. 83, 4, 305-312, 1957.

Les auteurs ont étudié les interférences des anions solubles dans la détermination du calcium par le photomètre à flamme (Beckman modèle B, Beckman modèle DU. et Perkins-Elmer modèle 146).

Des solutions synthétiques de calcium indiquent une augmentation de l'interférence avec des quantités croissantes d'ions phosphate et sulfate.

Dans les analyses de plantes et de sols, il ne faut pas ignorer ces interférences qui peuvent être très importantes.

Les auteurs proposent une méthode rapide dans laquelle tous les anions sont échangés contre des ions chlorure après passage sur une colonne de résine synthétique anionique. Ainsi toutes les interférences dues aux phosphates et aux sulfates sont éliminées.

Les résultats trouvés pour le calcium, après la percolation des filtrats de plantes et de sols à travers une colonne de résine, concordent avec ceux obtenus par titration au versénate.

La teneur en calcium des végétaux est ainsi fortement augmentée avec cette nouvelle méthode. Le calcium échangeable des sols était moins affecté par cette interférence par suite du fort rapport Ca/anions dans les sols étudiés.

G. S.

541. 48 : 545. 82

D. — Divers.

HILL-COTTINGHAM. — **Une méthode spectrophotométrique d'analyse des solutions de chélate et son application à l'étude des chélates de fer dans les sols et les plantes**. (A spectrophotometric method of analysis of chelate solutions and its application to the study of iron chelates in soils and plants). *Soil Sci.*, t. 84, 1, 43-49, 1957.

L'auteur explique en détail une méthode spectrophotométrique pour l'analyse quantitative des chélates de fer et de calcium : EDTA, HEEDTA, HEEDDA, DTPA, CDTA et che P 138.

Dans les sols fortement calcaires, l'adsorption par l'argile et l'échange du calcium avec le fer du chélate, varient avec le chélate employé. La présence d'ions phosphates sur l'argile et la concentration des ions calcium en solution, influencent le comportement de quelques chélates de fer.

D'après la méthode spectrophotométrique, on s'est rendu compte de l'absorption de la molécule complète de chélate de fer par les plantes.

G. S.

631. 421

NOZZOLINI (V.). — **L'application des méthodes statistiques à l'expérimentation agronomique. Plans expérimentaux pour les champs d'essai.** (L'applicazione dei metodi statistici nella sperimentazione agraria schemi sperimentali per le prove in campo). Suppl. Ann. Sper. Agrar., t. 11, 5, CXVII-CLII, 1957.

Dans le but de faciliter à l'expérimentateur le choix de l'établissement des plans les mieux adaptés à l'expérimentation, l'auteur décrit et discute les méthodes du carré latin, des blocs Fischer, des lattice simple et triple. Il présente quelques types de variantes de ces méthodes.

S. M.

II. — SOLS

B. — Propriétés chimiques et physico-chimiques.

631. 417. 745/6

STEVENSON (F. J.). — **Recherches des aminopolysaccharides dans les sols : Distribution des hexosamines dans quelques profils**. (Investigations of aminopolysaccharides in soils : 2 distribution of hexosamines in some soil profiles). *Soil Sci.*, t. 84, 2, 99-106, 1957.

L'auteur a étudié la distribution des sucres aminés dans un certain nombre de profils représentant plusieurs grands types de sols.

De 5 à 11 p. cent de l'azote des sols de surface est sous forme de sucre aminé. La proportion augmente avec la profondeur, et le maximum apparaît généralement dans l'horizon B.

Des accumulations notables d'hexosamines ont été observées dans les horizons B d'un sol podzolique et de plusieurs planosols.

Le drainage et la végétation naturelle n'influencent pas la distribution des hexosamines. L'auteur n'a pas remarqué d'accumulation dans les horizons B des sols podzoliques examinés.

G. S.

631. 83 : 631. 414. 3 : 634. 3

PRATT (P. F.) et GOULBEN (B). **Fixation du potassium dans le sol dans des essais de fertilisation de longue durée sur le citronnier**. (Potassium fixation in soil of a long term fertility triol with citrus). *Soil Sci.*, t. 84, 3, 225-232, 1957.

Les auteurs ont étudié la fixation du potassium à la fois au laboratoire et au champ. Jusqu'à 400 kg par hectare et par an, le potassium ne pénètre pas au-delà de 60 cm de profondeur. Pour une dose de 700 kg par hectare et par an, on ne le retrouve pas au-dessous de 90 cm de profondeur.

Le pourcentage du potassium apporté, qui est fixé dans les champs, croît en même temps que les apports.

D'après les expériences faites au laboratoire, les auteurs sont arrivés aux conclusions suivantes :

— La quantité de potassium fixé dans les premiers 30 cm est faible par rapport à celle fixée dans les 60 cm suivants.

— La fixation du potassium a lieu dans certaines conditions d'humidité.

— La fixation du potassium est accompagnée par une diminution de la capacité d'échange de cations.

G. S.

631. 461. 1/3 : 631. 411. 3

STOPANOVIC (B. J.) et BROADBENT (F. E.). — **Inflence des basses températures sur les transformations de l'Azote dans le limon argileux d'Honeoye.** (Influence of low temperatures on nitrogen transformations in Honeoye silt loam). *Soil Sci.*, t. 84, 3, 243-248, 1957.

Les auteurs ont étudié les transformations de l'azote qui ont lieu dans un limon argileux à 5 et 10°C, quand on apporte du sulfate d'ammoniaque ou du nitrate de potassium. Ils ont également étudié l'influence des apports de résidus végétaux, riches ou pauvres en azote, en présence ou non d'azote minéral sur ces transformations azotées.

Dans tous les essais, l'ammonification a lieu à 5 et 10°C, et c'est pendant les deux premières semaines qu'elle est la plus importante. On retrouve environ deux fois plus d'ammoniac à 10° qu'à 5°C.

Quand on apporte des résidus végétaux riches en azote, en présence d'azote minéral, la quantité de nitrate formée est à peu près la même aux deux températures et pour les deux sources d'azote.

G. S.

631. 841. 1 : 631. 432. 3

WAHHAB (A.), RAUDHAWA (M. S.) et ALAM (S. Q.). — **Perte d'ammoniac à partir du sulfate d'ammonium appliqué au sol dans différentes conditions**. (Loss of ammonia from ammonium sulphate under different conditions when applied to soils). *Soil Sci.*, t. 84, 3, 249-255, 1957.

Les auteurs ont étudié les pertes d'ammoniac à partir du sulfate d'ammonium dans différentes conditions. Dans un sol sableux, il se volatilise deux fois plus d'ammoniac que dans un sol sablo-limoneux.

La perte en azote ammoniacal augmente avec le taux d'azote ammoniacal mais diminue quand augmente la profondeur à laquelle est enfoui l'engrais.

Elle diminue également quand s'abaisse le pH du sol jusqu'à 5,4 (pH à partir duquel il n'y a plus de perte.)

La température accroît les pertes.

Dans un sol séché à l'air, les pertes d'ammoniac sont négligeables.

Les plus grandes pertes d'ammoniac apparaissent pour 0,25 p. cent de saturation d'humidité. Il existe une relation entre les pertes d'eau et les pertes d'ammoniac. Quand les premières cessent, les secondes n'ont pas lieu.

G. S.

631. 414. 3 : 549. 623. 9

SCHUFLE (J. A.). — **Influence des agents complexants sur l'ordre d'échange des cations sur la kaolinite.** (Effect of complexing agents on the order of cation exchange on kaolinite). *Soil. Sci.*, t. 84, 4, 323-328, 1957.

En absence d'anion complexant, d'après GIESEKING et JENNY, l'affinité des cations pour la kaolinite croît en même temps que les valences, ainsi Th > La > Ca > K. Si on ajoute un corps complexant tel que l'ion citrate ou l'ion fluorure à la concentration de 0,01 N, c'est exactement l'inverse qui se passe alors.

Les acides organiques trouvés dans l'humus sont de bons complexants : ils empêchent l'absorption du potassium par les argiles. Il est possible que les engrais potassiques soient plus efficaces si lors de leur application on ajoutait des agents complexants organiques ou inorganiques.

G. S.

631. 432. 3 : 541. 48

ATKINSON (H. J.) et WRIGHT (J. R.). — **Les chélates et le mouvement vertical des constituants du sol.** (Chelation and the vertical movement of soil constituents). *Soil Sci.*, t. 84, 1, 1-111, 1957.

Au cours du lessivage des sols calcaires par EDTA, les carbonates sont décomposés.

Le calcium et le magnésium descendent sous forme ionique ou chélatée Le fer et l'aluminium passent en solution, migrent plus bas et se redéposent.

Il se développe alors un profil nouveau avec des horizons bien définis.

Suivant la concentration de la solution chélatée, il apparaîtrait également des modifications dans les minéraux du sol.

G. S.

631. 416. 11 : 631. 414. 3

NOMMIK (H.). — **« Fixation » et désorption de l'ammonium dans les sols.** *Acta Agric. Scand.*, t. 7, 395-436, 1957.

L'auteur a étudié la fixation de l'ammonium dans des conditions humides dans un sol très argileux d'Uppland (Suède) qui contient beaucoup de vermiculite dans son argile et son limon.

L'auteur a observé les faits suivants :

1° La quantité d'NH_4^+ fixé augmente avec la quantité ajoutée au sol.

2° L'addition de K^+ au sol diminue la fixation de NH_4^+.

3° Une partie de NH_4^+ non échangeable contre K^+ est cependant en équilibre avec $N^{15}H_4^+$ dans la solution du sol.

4° La fixation la plus importante a été observée pour la fraction 1μ-2μ.

5° L'ammonium fixé peut être éliminé lentement du réseau en lessivant le sol avec diverses solutions acides.

6° Seule une fraction de NH_4^+ fixé a été utilisable par les organismes de la nitrification.

7° Par contre les organismes hétérotrophes semblent capables d'utiliser la plus grosse partie de NH_4^+ fixé dans le sol.

J. D.

631. 821. 1 (44)

MÉRIAUX (S.). — **Etude expérimentale de l'action d'un calcaire broyé sur un sol du Morvan**. *C. R. Acad. Agric.*, 11, 619, 1957.

L'auteur fait le point des résultats obtenus par une expérimentation de calcaire broyé sur sol granitique du Morvan.

Des essais parallèles ont été effectués en champs et au laboratoire avec différentes doses de calcaires.

L'évolution du pH avec la profondeur en fonction du temps a été étudiée.

En conclusion, il apparaît que lorsqu'on utilise un produit fin, comme celui avec lequel ont été faits les essais, la dose de 3 tonnes par hectare ne corrige pas l'acidité du sol au-delà de un an. Mais l'élévation de pH qu'elle entraîne est inférieure à l'unité. L'apport d'une dose double ou triple produit un effet plus durable, mais la variation immédiate du pH est élevée et risque de provoquer des effets néfastes.

E. T.

D. — Rapport avec les cultures.

631. 459 (44)

LEFÈVRE (P.). — **L'érosion des sols en Picardie**. *C. R. Acad. Agirc.*, 11,628, 1957.

Les observations faites dans les sols de Picardie confirment l'existence de phénomènes d'érosion entraînant des dégâts. En ce qui concerne l'érosion hydraulique, une période critique principale existe au printemps.

L'auteur examine comment se caractérise analytiquement l'érosion hydraulique de cette région, après analyses de sols.

L'érosion éolienne a été aussi étudiée, mais elle est limitée car les sols essentiellement sableux occupent des surfaces restreintes.

L'auteur donne des conseils sur la pratique de la culture, pour éviter les méfaits dus à l'érosion.

E. T.

634. 653 : 631. 414. 324 : 631. 416. 4 /5

MARTIN (J. P.) et ERVIN (J. O.). — **Influence du degré de saturation en bases sur la tolérance des plants d'avocatier au sodium et potassium échangeables du sol.** (Effect of degree of base saturation on tolerance of avocado seedlings to exchangeable Na and K in the soil). *Soil Sci.*, t. 83, 4, 265-271, 1957.

Les auteurs ont étudié l'influence des pourcentages de sodium et de potassium échangeables sur la croissance et la composition chimique des plantules d'avocatier. Ils ont opéré dans des sols acides, dans des sols saturés en bases et dans des sols contenant un excès de 2 p. 100 de Co_3Ca.

Cette croissance et cette composition chimique dépendent beaucoup de la teneur en Na et en K échangeables du sol, par contre le Ca et l'H échangeable ont peu d'influence.

Une teneur élevée en K et en Na échangeables entraînent une diminution de l'absorption du calcium qui est plus importante dans les sols acides, mais cette réduction d'absorption n'est pas suffisante pour influencer la croissance. Une augmentation du Na et du K est suivie par une diminution du calcium, plus grande dans la feuille que dans la racine. Le potassium des feuilles semblerait être légèrement influencé par un excès de Co_3Ca.

G. S.

633. 15 + 633. 327 : 631. 811. 3 + 631. 811. 5

WEHUNT (R. L.), STELLY (M.) et COLLUIS (W. O.). — **Influence du sodium et du potassium sur le maïs et le trèfle incarnat cultivés sur un limon sableux de Norfolk en présence de deux taux de potassium résiduels.** (Effect of Na and K on corn and crimson clover grown on Norfolk sandy loam at two residual K levels). *Soil Sci.*, t. 83, 3, 175-183, 1957.

Les auteurs ont étudié pendant trois ans l'influence des apports de sodium et de potassium à un limon sableux pauvre ou riche en potassium échangeable, sur la récolte et la teneur en Na et K du maïs et du trèfle incarnat.

Le sodium ne s'accumule pas sous une forme échangeable dans la partie superficielle de ce sol, tandis que le potassium échangeable s'accroît avec les apports répétés.

Le maïs et le trèfle incarnat répondent différemment aux traitements sodiques et potassiques.

Le sodium n'a pas d'influence sur la teneur en sodium des feuilles et du grain de maïs, par contre il augmente la teneur en sodium du trèfle incarnat ainsi que son rendement, quand le taux du sol en potassium n'est pas faible.

Le potassium généralement augmente la teneur en potassium et le rendement des deux plantes expérimentées.

Les additions de sodium entraînent une augmentation de la teneur en potassium du maïs et du trèfle, spécialement quand le K échangeable n'est pas faible.

Le teneur en sodium du trèfle incarnat est plus importante quand le taux résiduel de potassium est élevé.

Les effets favorables du sodium sont dus à sa facilité de substitution avec le potassium dans les plantes et à son influence sur l'assimilabilité du potassium du sol.

G. S.

E. — Microbiologie.

631. 4 : 551. 311. 33 : 631. 434 : 631. 46

MAC CALLA (T. M.), HASKIUS (F. A.) et FROLIK (E. F.). — **Influence des différents facteurs sur l'agrégation du loess de Peorian par les microorganismes.** (Influence of various factors on aggregation of Peorian loess by microorganisms). *Soil Sci.*, t. 84, 2, 155-161, 1957.

Après avoir isolé 33 fungi et 1 Actinomycète des sols du Nebraska, les auteurs ont testé leur efficacité à provoquer l'agrégation du loess de Peorian. Ils ont également testé l'efficacité de quelques-uns de ces fungi en présence d'une source d'énergie : paille et sucrose.

L'influence de différents facteurs (taux de carbone, humidité, température, temps) sur l'agrégation a été étudiée avec 3 des souches les plus actives.

En général, les auteurs ont obtenu une meilleure agrégation avec le sucrose qu'avec la paille. Seules quelques cultures provoquent une agrégation appréciable en présence de paille.

Dans des conditions favorables de température et d'humidité et en présence d'une source d'énergie, l'agrégation peut être très rapide (3 à 7 jours).

G. S.

G. — Améliorants physiques. Travail du sol.

631. 445. 1 : 631. 48 : 631. 87

STOTZY (G.) et MORTENSEN (J. L.). — **Influence des résidus de récoltes et des apports d'azote sur la décomposition d'un sol tourbeux de l'Ohio.** (Effect of crop residues and nitrogen additions on decomposition of an Ohio muck soil). *Soil Sci.*, t. 83, 3, 165-174, 1957.

Les auteurs apportent dans un sol de l'Ohio, du seigle, de la luzerne et de la paille à des doses variant de 12,5 tonnes à 100 tonnes par hectare. Après 113 jours d'incubation, ils constatent une perte de carbone, sous forme de Co_2, inférieure au taux de carbone contenu dans les résidus, excepté pour la plus petite dose apportée. Le sol traité avec la paille retiendrait plus de carbone. L'addition de seigle et de luzerne conduit à une forte minéralisation d'azote et le C/N des produits de décomposition est inférieur au C/N des mélanges sol + résidus de récoltes.

L'addition de paille entraîne une immobilisation d'azote.

L'addition de résidus de récolte cause un accroissement net de la teneur en carbone et de la teneur en matière organique du sol expérimenté. Il existe un point d'équilibre entre les additions et les pertes, situé entre 12,5 et 25 tonnes par hectare, et indépendant de la nature des résidus.

Les auteurs ont fait une autre expérience avec le même sol qu'ils ont enrichi avec des doses d'ammonitrate allant de 0 à 2 000 kg par hectare. L'azote ne serait pas un facteur limitant dans la décomposition de cette tourbe.

G. S.

III. — FERTILISATION

A. — Expérimentation générale.

633. 16 : 631. 811 (44)

COLLIER (D.), GACHON (L.) et ROBELIN (M.). — **Cinquième année d'expérience en cases de végétation de la station agronomique du Massif Central. Essais sur orge de printemps.** *C. R. Acad. Agric.*, 12, 664, 1957.

L'influence des conditions de sous-sol des cases sans nappes sur les rendements, a été fortement atténuée, les réserves d'eau du sol ayant été réduites cette année.

Les auteurs observent une diminution de l'efficacité de la fumure azotée sur les rendements en grains, avec la profondeur du sol, pouvant aller jusqu'à des valeurs négatives.

Ils enregistrent une action largement positive de la nappe aquifère sur les rendements croissant avec la profondeur du niveau de l'eau. L'efficacité de la fumure azotée diminue avec la profondeur.

Les auteurs concluent à une insuffisance d'eau dans les sols de Limagne, pour l'obtention d'un bon rendement en céréales, et à une nécessité d'aménagement de l'eau dans cette région.

E. T.

633. 511 : 631. 811

EATON (F. M.) et ERGLE (D. R.). — **Nutrition minérale du cotonnier.** (Mineral Nutrition of the Cotton Plant). *Plant Physiol.*, t. 32, 3, 169-175, 1957.

La croissance et l'accumulation des éléments minéraux chez le cotonnier sont mesurées tous les 5 jours, pendant 30 jours au cours d'une expérience en serre sur solution de Hoagland. Pendant les 5 premiers jours, on note un accroissement des concentrations en N, K, Ca et Na chez les plantules. La concentration en P diminue les 15 premiers jours, pour augmenter ensuite. A partir du 10e jour, le poids de matière sèche par plante et les éléments minéraux (sauf P) tendent à doubler à chaque intervalle de 5 jours.

En plein champ, les expériences portent sur des plantes âgées de 30 à 150 jours.

Entre le 30e et le 45e jour, il y a à la fois des pertes et des augmentations des 5 éléments. A partir du 105e jour commence une période de gains rapides du poids des tissus reproducteurs. Pendant le développement des capsules, il y a de fortes augmentations en matière sèche et en poids de N, P, K, Ca et Mg par plante.

A la maturité, les poids des bourgeons et des capsules constituent 66 p. 100 du poids de la plante entière. Les bourgeons et capsules contiennent 57 p. 100 de l'azote total; 79 p. 100 de P, 46 p. 100 de K restant ; 53 p. 100 de Mg mais seulement 34 p. 100 de Ca. Lorsque la maturité des fruits s'avance, il y a un départ de P des tissus végétatifs vers les tissus reproducteurs, mais entre le 105e jour et le 150e jour le poids de P par plante double.

Le maintien de concentrations minérales uniformes dans les feuilles, les tiges (et les hydrates de carbone dans les tiges) durant la mise à fruit semble caractériser le cycle reproductif du cotonnier. C'est une caractéristique qui permet au cotonnier de produire des capsules. La base de ce mécanisme s'appuie sur le fait que le cotonnier rejette les capsules superflues qui ne pourraient parvenir à maturité. Ce rejet est produit par une antiauxine sécrétée par les capsules qui se développent, et qui diffuse à travers la plante pour diminuer l'expansion végétative et induire l'abcision de nouvelles capsules lorsque la fécondité dépasse 6 à 7 capsules pour 100 g de matière fraîche des feuilles et des tiges. Sans ce rejet, les fibres tardives seraient inévitablement plus courtes, plus faibles et plus délicates et conviendraient donc moins bien au filage de fils de haute qualité.

M. G.

633. 322 : 581. 14 : 631. 8

GHISLENI (P. L.). — **Recherches sur la biologie et le développement du trèfle ladino (Trifolium repens L.) 1re partie.** (Ricerche su la biologia e lo sviluppo in coltura del trifoglio ladino (Trifolium repens L.). Primo contributo). *Ann. Sper. Agrar.*, t. 11, 5, 1127 à 1145, 1957.

Par un test sur le trèfle ladino dont la présente note donne seulement les résultats de la première année, il a été possible d'examiner l'action des différentes opérations agronomiques sur la plante.

L'auteur a démontré : que la fertilisation complète, avant le semis, agit favorablement ; que la fertilisation tardive, en général, n'agit pas en temps utile pour la deuxième coupe ; que la fertilisation limitée à une bande de 30 cm de large le long de la ligne ensemencée ou à une moitié latérale de la parcelle donne lieu à des réactions des plantes que l'on peut interpréter de la façon

suivante : les racines sont capables de développer leur activité d'absorption des éléments nutritifs de façon totale dans le premier cas et de façon partielle dans le deuxième cas.

S. M.

B. — Matières humiques.

631. 417. 2 : 631. 86/87 (44)

HEBERT (J.). **Le problème de l'humus dans les régions de culture industrielle du Nord de la France**. *C. R. Acad. Agric.*, 427, 1957.

Après avoir défini le « problème de l'humus » l'auteur insiste sur le fait que l'effet humique d'un apport de matières organiques se voit difficilement.

L'appauvrissement annuel dans le cas de terres ne recevant pas d'apport organique, autre que les résidus de récolte, est très faible (0,5 p. 100 du taux de matière organique). Il est très difficile de dire si la politique suivie en matière d'humus est conservatrice ou non.

L'effet azote peut se marquer considérablement et masquer alors les effets culturaux à long terme ; par contre l'humus en formation bloque une fraction de l'azote enfoui et diminue l'action de l'engrais azoté.

Il est nécessaire, pour connaître la valeur d'une matière organique de faire des expériences de longue durée, spécialement conçues et interprétées avec prudence.

Puis l'auteur répond à la question : quand doit-on s'inquiéter du problème de l'humus ? et il insiste ensuite sur le fait que le chiffre de matière organique n'a de valeur qu'en fonction du taux des autres constituants du sol.

C. T.

G. — Oligo-éléments.

631. 828 : 546. 47 : 631. 811. 94. 47

BOAWN (L. C.), VIETS (F.), CROWFORD (C.). **Utilisation par les plantes du zinc provenant de différents composés zinciques et d'engrais**. (Plantulization of zinc from various types of zinc compounds and fertilizer materials. *Soil Sci.*, t. 83, 3, 219-227, 1957.

Les auteurs ont ajouté à des plantes cultivées en pots, du zinc provenant de huit composés zinciques : chélate de zinc, oxyde de zinc, phosphate, carbonate de zinc, mâchefer de haut fourneau, fritte de zinc, zinc en granules, résidus d'attaque par les acides.

Dans chaque expérience, sont ajoutés des témoins et des traitements au SO_4Zn comme termes de comparaison.

L'utilisation du zinc est la plus importante à partir du chélate .

Les résidus acides, ZnO, $Zn_3(Po_4)_2$ et $ZnCo_3$ donnent au point de vue absorption des résultats analogues au sulfate de zinc.

Le mâchefer entraîne une légère absorption du zinc comparativement aux témoins. Les granules de zinc seraient légèrement inférieures au sulfate de zinc.

G. S.

633. 852. 52 : 631. 811. 94. 27

HARRIS (H. C.) et GILMAN (R. L.). — **Action du bore sur les arachides**. (Effect of boron on peanuts). *Soil Sci.*, t. 84, 3, 233-242, 1957.

Deux expériences ont été faites en serre afin de déterminer l'influence du bore sur la récolte et la qualité des arachides dans le sable fin de Blanton.

Dans la première, les auteurs ont étudié les récoltes d'« Early Runner » et la teneur en huile et éléments minéraux des arachides. Dans la seconde des comparaisons ont été faites entre « Early Runner » et « Dixie Runner ». Des apports de bore entraînent une augmentation de la récolte pour les deux variétés. Les récoltes de feuillage varient en sens inverse des productions d'arachides.

« Early Runner » donnerait de plus grandes différences dans les récoltes. En absence de bore, la proportion d'arachides creuses est importante et le pourcentage de graines bien développées est faible.

La teneur en huile et en éléments minéraux n'est pas beaucoup influencée par les apports de bore.

G. S.

631. 828 : 541. 48 : 634. 3 (73)

STEWART (I.) et LEONARD (C. D.). **Emploi de chélates dans la production d'agrumes en Floride**. (Use of chelates in citrus production in Floride). *Soil Sci.*, t. 84, 1, 87-97, 1957.

La chlorose ferrique, une des carences les plus difficiles à corriger, a été vaincue avec succès par l'emploi des chélates de fer. En Floride, environ la moitié des agrumes sont déficients en fer. Sur les sables acides, Fe E D T A diminue efficacement les carences, aussi entre-t-il dans la composition de nombreux fertilisants, utilisés en Floride. Le problème est plus délicat dans les sols alcalins à cause des propriétés chimiques des chélates, mais les nouveaux chélates semblent être d'excellentes sources de fer pour les plantes dans les sols riches en chaux.

Les chélates de zinc pour les agrumes seraient préférables au sulfate de zinc.

G. S.

631. 828 : 541. 48 : 631. 811. 94

WALLACE (A.), et divers. — **Quelques aspects de l'emploi des chélates métalliques comme sources de microéléments**. (Some aspects of the use of metal chelates as micro nutrient fertilizer sources). *Soil Sci.*, t. 84, 1, 27-41, 1957.

Les microéléments peuvent être fournis aux plantes soit par pulvérisations soit par applications au sol de chélates métalliques. Les auteurs ont étudié dans cet article les réactions des chélates dans les sols (attaque microbiologique, réaction d'échange, fixation par les argiles, comportement des métaux), les réactions des chélates dans la plante, ainsi que les effets des pulvérisations.

G. S.

634 : 631. 828 : 541. 48 : 631. 811. 94. 47

BENSON (N. R.), BATJER (L. P.) et CHMELIR (I. C.). — **Réponse de quelques arbres fruitiers aux chélates de zinc**. (Response of some deciduous fruit trees to zinc chelates). *Soil Sci.*, t. 84, 1, 63-75, 1957.

Des applications de zinc EDTA et de zinc HEEDTA ont été faites dans des sols qui portaient des pêchers, des cerisiers et des pommiers carencés en zinc. La carence fut corrigée sur les pêchers et les cerisiers, mais pas sur les pommiers. Immédiatement, les auteurs ont constaté une augmentation de la teneur en zinc des feuilles de pêchers et de cerisiers.

Il faut au moins une livre de chélate de zinc par pêcher pour obtenir une absorption satisfaisante du zinc. La meilleure époque pour appliquer le zinc serait de juin à novembre. Des applications de zinc chelaté dans le sol seraient en général préférables à des pulvérisations de sulfate de zinc.

G. S.

631. 811. 94. 72. 031 : 541. 48

De Kock (P. C.) et Mitchell (R. L.). — **Absorption par les plantes des métaux chélatés**. (Uptake of chelated metals by plants). *Soil Sci.*, t. 84, 1, 55-62, 1957.

Sur des expériences avec moutarde et tomate, les auteurs ont constaté que les cations divalents (Co, Ni, Zn, Cu) qui sont facilement absorbés par les plantes quand ils sont en solution sous une forme ionique, le sont beaucoup moins quand ils sont chélatés, en particulier avec E. D. T. A. Il apparaît également une réduction de l'absorption de ces métaux quand Fe E. D. T. A. remplace le chlorure ferrique comme source de fer.

Les cations trivalents (Cr, Al, Ga, In), peu absorbés quand ils sont en solution ionique, pénètrent facilement dans les plantes et sont transportés jusqu'aux feuilles quand ils sont chélatés.

Pour le Cr, Al et Ga, l'absorption est plus faible avec D. T. P. A. qu'avec A. T. A. et E. D. T. A.

L'absorption par les racines dépendrait de la charge de la molécule chélatée : les complexes avec zéro ou une seule charge négative seraient absorbés, ceux avec deux charges ne le seraient pas.

G. S.

634. 3 : 632. 16 : 631. 828 : 541. 48

Kuykeudall (J.), Hilgeman (R. H.) et Van Horn (C. W.). — **Réponse des agrumes chlorotiques de l'Arizona aux applications de chélate de fer dans le sol**. (Response of chlorotic citrus trees in Arizona to soil applications of iron chelates). *Soil Sci.*, t. 84, 1, 77-86, 1957.

Les auteurs ont comparé entre eux cinq chélates de fer dans cinq sols différents de l'Arizona. Ils ont obtenu un reverdissement rapide et complet des feuilles chlorotiques de citronniers et d'orangers dans les sols sableux de Yuma Mesa, et dans les sols limoneux et argileux de Salt River Valley, pour des doses de 12 et 24 g de fer par arbre (applications au sol de HFe, EDDHA). Une action moins rapide, mais cependant satisfaisante a été constatée pour RA. 157 Fe à la dose de 48 g Fe par arbre et pour Na Fe DTPA à la dose de 96 g Fe par arbre.

Na Fe HEEDTA, à la dose de 164 g Fe par arbre, donne des résultats satisfaisants pour le sol sableux, mais sur le sol limonoargileux, le reverdissement des orangers est partiel et irrégulier.

Les chélates de fer (Na Fe DTPA et Na Fe HEEDTA) seraient probablement adsorbés sur la fraction argileuse, ce qui les rendrait plus lentement et plus difficilement assimilables pour les agrumes que le chélate de fer HFe EDDHA qui n'est pas adsorbé par les argiles.

G. S.

632. 16 : 631. 828 : 541. 48

KROLL (H.). **Le chélate ferrique de EDDHA pour le traitement de la chlorose calcaire.** (The ferric chelate of ethylene diamine di (o-hydroxy-phenyl acetic acid) for treatment of lime induced chlorosis). *Soil Sci.*, t. 84, 1, 51-53, 1957.

Le chélate ferrique de EDDHA, appliqué au sol, est très efficace dans les chloroses calcaires, par suite de sa stabilité en milieu alcalin.

G. S.

IV. PRODUCTION VÉGÉTALE

A. — Phytotechnique.

633. 31 : 581. 43 : 581. 1. 08 : 539. 16

LIPPS (R. C.), FOX (R. L.), KOCHLER (F. E.). **Caractérisation de l'activité des racines de luzerne par les éléments marqués.** (Characterizing root activity of alfalfa by radioactive tracer techniques). *Soil Sci.*, t. 84, 195-204, 1957.

Les auteurs ont employé des engrais contenant du P_{32} pour leurs expériences. Ils les ont enfouis à des profondeurs variant de 0 à 2,40 m, dans 36 petits trous de 4 cm environ de diamètre ou dans 9 trous de 7, 5 cm, par parcelle de 0,81 m².

Des résultats identiques ont été obtenus pour les deux méthodes de placement des engrais. Les petits trous semblent cependant être plus satisfaisants, puisque la structure du sol est moins modifiée, et l'engrais mieux réparti.

Les auteurs ont constaté trois zones d'activité des racines :

— L'activité est forte à la surface du sol au printemps et elle diminue avec les périodes sèches de l'été et de l'automne.

— Entre 60 et 120 cm, il existe une zone de très faible activité.

— Dans les sols humides, au-dessus du niveau d'eau apparaît une zone d'activité secondaire.

G. S.

581. 134. 035. 5

BRADFORD VICKERY (H.). — **Formation de l'amidon et comportement de l'acide isocitrique dans les feuilles excisées de bryophyllum calycinum cultivées à l'obscurité.** (The formation of starch and the behavior of isocitric acid in excised leaves of Bryophyllum Calycinum cultured in Darkness). *Plant Physiol.*, t. 32, 3,220-224, 1957.

L'auteur répète une expérience utilisant des feuilles excisées de Bryophyllum calycinum cultivées à l'obscurité sous pulvérisation continuelle d'eau.

La teneur en amidon des feuilles augmente de la 6e à la 30e heure du traitement, tandis que l'acide malique diminue pendant la même période ainsi qu'on l'observait dans la précédente expérience.

Le comportement de l'acide isocitrique est, au contraire, entièrement différent dans la présente expérience. L'acide isocitrique augmente continuellement pendant la période de culture, alors qu'on constatait une perte rapide initiale dans l'expérience précédente. Cette différence est attribuée au taux plus faible d'amidon contenu au départ dans les feuilles de la 1re expérience.

L'acide isocitrique peut jouer le rôle de réserve, emmagasinée pour les besoins du métabolisme pendant la 1re phase du traitement ; après l'utilisation de l'acide malique, il a été bien prouvé que la perte d'acide isocitrique cessait. Dans la présente expérience, ce phénomène ne survient pas.

Il semble qu'une relation étroite existe entre la formation de l'amidon et la perte d'acide malique. Cependant la relation moléculaire entre les quantités de corps réagissants est telle qu'elle suggère que la formation de l'amidon à l'obscurité, dans les conditions de la présente expérience, est une réaction secondaire dans laquelle une partie de l'acide malique présent est entraînée.

M. G.

B. — **Physiologie végétale.**

581. 111. 3 : 577. 17 : 631. 811. 2. 031 : 631. 816. 36

BARRIER (G. E.) et LOOMIS (W. E.). **Absorption et migration de l'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique et de P^{32} par les feuilles.** (Absorption and translocation of 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid and P^{32} by leaves). *Plant Physiol.*, t. 32, 3, 225-231, 1957.

L'absorption du 2,4-D par les feuilles est augmentée par les produits chimiques agissant sur la tension superficielle. L'absorption du phosphore inorganique n'est soumise à aucun de ces facteurs. L'absorption du 2,4-D par les racines de soja n'est pas accélérée lorsque la température s'élève de 13 à 23°C.

Le phosphore radioactif déposé sur l'une des feuilles trifoliées est transporté à travers toute la plante. 16 p. 100 du P^{32} appliqué à l'une des feuilles sont absorbés en 2 heures et ne peuvent être enlevés par le lavage. Du P^{32}, absorbé, 66 p. 100 restent dans la feuille traitée. Le reste se concentre dans le bourgeon et les jeunes feuilles ainsi que dans la tige au-dessus du point d'application et dans les racines. Les feuilles bien développées au moment du traitement ne reçoivent que de petites quantités de phosphore.

L'absorption du 2,4-D et du P^{32} n'est pas réduite par la diminution des hydrates de carbone de la feuille. La migration à partir des feuilles, au contraire, est ralentie ou arrêtée. L'absorption et le mouvement soit du 2,4-D soit du P^{32} des feuilles demandent plus de 2 heures, tandis que l'absorption seule s'effectue en moins de 2 heures. L'analyse des feuilles traitées par P^{32} montre que 80 p. 100 du phosphore radioactif est présent dans les composés organiques après 24 heures.

5 heures après avoir badigeonné avec une solution de P^{32} le limbe de feuilles de betteraves détachées, un grand pourcentage de phosphore se trouve concentré dans les nervures. Des surfaces très grandes du mésophylle ne contiennent presque pas de phosphore radioactif.

M. G.

581. 13/14 : 633. 13

ORDIN (L.) et BONNER (J.). — **Action du galactose sur la croissance et le métabolisme des sections du coléoptile d'avoine.** (Effect of Galactose on growth and metabolism of Avena coleoptile sections). *Plant Physiol.*, t. 32, 3, 212-215, 1957.

Le galactose à la concentration de 0,01 M, en présence d'acide indoleacétique (IAA) inhibe la croissance des sections du coléoptile d'avoine. Pour

une concentration de 0,09 M de galactose, en présence de IAA, les sections s'allongent de 0,09 mm au bout de 20 heures tandis que l'élongation est de 0,94 mm dans une solution contenant 0,09 M de Mannitol. La respiration n'est pas inhibée pour les 2 concentrations de galactose expérimentées.

Une expérience utilisant du galactose et du glucose radioactifs montre que le galactose s'incorpore aussi facilement que le glucose dans les constituants de la paroi cellulaire, sauf dans la cellulose et la protopectine. L'incorporation dans la cellulose du carbone du galactose est beaucoup plus lente que celle du carbone du glucose. Aux faibles concentrations de galactose, l'auxine stimule la pénétration du carbone radioactif du galactose dans la cellulose. Le galactose, à la concentration de 0,004 M inhibe l'incorporation du carbone radioactif C^{14} du glucose dans la cellulose. L'incorporation de C^{14} du glucose dans la cellulose est fortement réduite par la présence de galactose.

Le galactose est utilisé pour la respiration moins rapidement que le glucose.

Il est suggéré que le galactose inhibe spécifiquement l'élongation de la cellule en interférant dans la synthèse de la cellulose.

M. G.

577. 17

WELLER (L. E.), BAKL (C. D.) et SELL (H. M.). — **Etudes des interactions de l'hydrazide maléique avec la fonction thiol.** (Studies of Maleic Hydrazide Interactions with Thiol Compounds). *Plant Physiol.*, t. 32, 2, 146-147, 1957.

Afin d'étudier si l'hydrazide maléique peut inhiber la croissance en réagissant avec les groupements thiol, on recherche les interactions de l'hydrazide maléique avec la fonction thiol en présence et en l'absence d'homogénéisats de tissus de plantes.

Il est confirmé que la fonction thiol forme avec l'hydrazide maléique des composés d'addition. Cependant les résultats indiquent que l'hydrazide maléique, ayant une structure analogue à celle de l'acide maléique ne réagit pas avec les groupements thiols dans les conditions où se forment des composés d'addition de l'acide maléique avec la fonction thiol.

Des expériences utilisant des homogénéisats de tissu de feuille de radis indiquent que dans les conditions étudiées, il n'existe pas dans ces tissus un système d'enzymes capables de catalyser la réaction du radical thiol avec l'hydrazide maléique ou de convertir l'hydrazide maléique en un composé qui s'ajouterait au groupement thiol.

Les résultats des études de méthylation par ARNDT et ses collaborateurs établissent que la structure de l'hydrazide maléique ne permet pas la réaction d'addition en question.

M. G.

631. 811. 031

EPSTEIN (E.). — **Pénétration passive et transport actif des ions dans les racines de la plante.** (Passive Permeation and active transport of ions in Plant roots). *Plant Physiol.*, t. 30, 6, 529-535, 1956.

Ces expériences, faites à l'aide de S^{35}, Se^{75}, P^{32}, Ca^{45}, montrent la pénétration passive et réversible dans le tissu de la racine d'orge, du sulfate et d'autres ions inorganiques, par diffusion. La région accessible aux ions par diffusion est appelée « espace externe » de la racine. Elle occupe environ 23 p. 100

du volume total du tissu et a les propriétés suivantes : 1° Après transport de la racine dans une nouvelle solution, l'équilibre est atteint en une heure. 2° A l'équilibre, la concentration des ions dans « l'espace externe » du tissu est égale à leur concentration dans le milieu ambiant. 3° Il n'y a pas de compétition entre les ions pour pénétrer dans cette région. 4° La migration des ions dans cet « espace » est librement réversible ; après transfert du tissu dans l'eau les ions diffusent de nouveau hors de cet espace. 5° Il n'y a pas d'action du pH. L'espace est librement accessible au sélénate, phosphate, ions calcium en plus du sulfate.

L'auteur examine la relation entre la diffusion des ions dans « l'espace externe » et leur mouvement dans « l'espace interne » (région vers laquelle les ions sont transportés par le mécanisme actif et où ils ne sont pas sujets à perte par diffusion ou par échange avec les ions ambiants). Il conclut que : les cellules de la racine, par leur mécanisme actif de transport, absorbent les ions directement à partir d'une solution déjà à l'intérieur du tissu qui, à son tour, est en équilibre avec la solution ambiante.

M. G.

581. 035. 4 : 577. 158

APPLEMAN (D.) et PYFROM (H. T.). — **Changements dans l'activité de la catalase et autres conséquences provoquées chez les végétaux par la lumière bleue ou rouge.** (Changes in Catalase Activity and Other Responses induced in Plants by Red and Blue Light). *Plant Physiol.*, t. 30, 6, 543-549, 1955.

Les changements, dans l'activité de la catalase dans les plantes, causés par irradiation, pendant de courtes périodes, par la lumière rouge ou bleue sont étudiés.

Dans les semences d'orge étiolées et d'autres graines, l'activité de la catalase est fortement diminuée (environ 70 p. 100) par la lumière bleue et augmentée par la lumière rouge. Ceci est également vrai pour les jeunes plantes de tomate et de tabac cultivées à la lumière du jour et illuminées pendant 3 à 6 jours par la lumière colorée. Chez le haricot, le pois et le trèfle, la catalase augmente par irradiation avec la lumière bleue et diminue avec la lumière rouge.

Cette expérience montre que les feuilles d'orge irradiées par la lumière bleue contiennent moins d'acides aminés, mais plus de protéines que les feuilles soumises à la lumière rouge.

La teneur en acide ascorbique des feuilles d'orge irradiées par la lumière bleue est plus forte que dans les feuilles placées à l'obscurité ou recevant la lumière rouge.

L'importance probable de la catalase dans les processus de biosynthèse est discutée.

M. G.

633. 15 : 547. 458. 8 : 545.

BENNETT (E.). — **Action d'une solution d'acide perchlorique sur la teneur en xylane de l'holocellulose des rachis de maïs.** (Effect of Aqueous Perchloric Acid on the Xylan Content of Holocellulose from Cornstalks). *Plant Physiol.*, t. 30, 6, 562, 1955.

Les hemicelluloses sont solubles dans l'acide perchlorique dilué (2,5 à 5 M). L'acide perchlorique a une action incomplète, positive mais non sélective.

Les matières solides totales dissoutes par l'acide perchlorique sont constituées par environ 2/3 de xylane et 1/3 d'hexosane ; après 2 heures de contact environ 60 p. 100 du xylane est dissous.

M. G.

581. 192

TOLBERT (N. E.) et WIEBE (H.). — **Composés phosphorés et sulfurés de la sève du xylème de la plante**. (Phosphorus and Sulfur Compounds in Plant Xylem Sap). *Plant Physiol.*, t. 30, 6, 499-504, 1955.

Les expériences sont faites sur sable ou sur sol, en serre ou sur solutions nutritives. Elles montrent que le xylème de plusieurs espèces de plantes contient 3 composés marqués au P^{32}-phosphate inorganique et 2 composés inconnus. 20 p. 100 du phosphore radioactif total compose ces inconnus dans l'exsudat de tiges de tomates décapitées.

Les 2 composés inconnus contenant du phosphore sont des constituants normaux de la sève du xylème, mais ne sont pas décelés dans l'exsudat d'un pédoncule écrasé ou d'un fruit vert. L'un des composés phosphorés inconnus est également présent dans l'orge.

Le pourcentage de P^{32} dans les composés inconnus atteint un maximum environ 4 heures après l'addition de P^{32} à la solution nutritive dans laquelle baignent les racines. Ce retard est indépendant du moment où le sommet de la plante est coupé pour recueillir l'exsudat.

Plusieurs expériences montrent que les composés inconnus sont des constituants normaux du xylème plutôt que des composés formés sur la surface coupée de la tige ou de la feuille ou des produits formés par les radiations de P^{32}.

Le pourcentage et la quantité de P.. dans les composés inconnus contenant du phosphore varient avec l'âge des plantules, il est élevé dans les plus jeunes (3-4 jours), diminue dans celles de 9 jours et augmente de nouveau.

Si on enlève les graines de jeunes plantules, cultivées sur solutions nutritives aérées, en même temps ou après l'addition du phosphate marqué au P^{32} et simultanément avec la coupure de la feuille, on observe une forte réduction des composés phosphorés inconnus environ 2 h après. Ces résultats suggèrent que la graine contribue également à la synthèse de ces composés.

Le sulfate inorganique marqué au S^{35} a été étudié de la même façon dans l'orge. Seule le sulfate inorganique est présent sur les chromatogrammes.

M. G.

C. — Climatologie.

633. 11 : 581. 14. 05 (44)

MALTERRE et FIORAMONTI. — **Influence de deux caractéristiques du milieu sol-climat sur la productivité des blés en Hte-Garonne**. *C. R. Acad. Agric.*, 4, 199, 1957.

Dans la région toulousaine, les rendements des récoltes de blé dépendent en premier lieu des facteurs climatiques. C'est ainsi qu'un excès de pluviosité pendant l'hiver peut avoir une influence néfaste : les « boulbènes » sont battants, et les sols sont noyés en surface, ce qui provoque une asphyxie provisoire des racines des jeunes plantules ; par contre la flore adventice est favorvorisée et les emblavures sont envahies par de mauvaises herbes difficiles à

faire disparaître. Les rendements en grains des blés d'automne sont alors fortement diminués.

La productivité dépend également de la nature des sols qui sont souvent très différents au point de vue de leur degré naturel de fertilité.

G. S.

VII. — BIBLIOGRAPHIE

631. 62

LUTHIN (J. N.). — **Drainage of agricultural lands. Vol. VII of « Agronomy ».** 620 p., *The Amer. Soc. Agron. Publ.*, Madison, 1957.

Dans ce volume de 600 pages, édité en 1957 par l'American Society of Agronomy, se trouvent réunis tous les aspects du problème du drainage du sol. Dans un premier chapitre, il est traité du côté purement *physique et des lois générales régissant* la dynamique et la statique de l'eau dans le sol. Le chapitre II traite de la *théorie du drainage du sol*. Van SCHILFGAARDE y préconise l'emploi de la méthode de HOOGHONDT dans le cas des nappes fixes, ou bien la solution et ERNST et BOUMAN. Pour les nappes fluctuantes, c'est la technique de KIRKHAM et GASKELL qui donne, selon l'auteur, les meilleurs résultats. Ensuite divers auteurs étudient les points suivants : équilibre du plan d'eau avec la pluie ou l'irrigation, les sols inondés, la théorie du drainage par pompage dans les puits, l'anisotropie du sol et le drainage.

Réalisation du drainage : après des généralités, les auteurs étudient successivement le drainage des zones irriguées et le drainage des zones humides.

Etudes préalables au drainage : les auteurs examinent les méthodes d'étude de la perméabilité du sol et toutes les autres études préliminaires sur le terrain.

Enfin, le dernier chapitre met en relief l'*action du drainage sur le sol et les cultures* : influence de la profondeur des drains sur les propriétés physiques des sols, problèmes de salure en relation avec la hauteur du plan d'eau, action de l'excès d'humidité sur les cultures.

A la fin du volume, on trouve 30 pages de bibliographie.

Le rédacteur de cette monographie, J. N. LUTHIN, a fait appel à de nombreux auteurs américains (Don KIRKHAM, R. C. REEVE...), anglais (E. C. CHILDS...), danois (ENGELUND), hollandais (WESSERLING...) pour ce volume, qui permet de faire le point des connaissances actuelles.

A. F.

63 : 01

LAUCHE (R.). — **Internationales Handbuch der Bibliographien des Landbaues.** *Bayerischer Landwirtschaftsverlag*, Münich, 411 p., 1957.

Cet important travail de M. Rudolf Lauche constitue la première bibliographie internationale, systématique, de bibliographies agricoles. Il comporte 4157 références de bibliographies ou notes bibliographiques, parues entre 1956 et 1957, classées méthodiquement sous les grandes rubriques suivantes : Agriculture en général (692 réf.); Sciences appliquées à l'agriculture (396 réf.); Sol et plante (1 207 réf.); Animaux (409 réf.); Machinisme agricole et génie rural (152 réf.); Sciences sociales agricoles (272 réf.); Technologie agricole (292 réf.); Sylviculture (381 réf.); Sciences vétérinaires (356 réf.).

Pour chaque section, l'auteur signale les publications telles que bibliographies de bibliographies, listes d'Instituts, de bibliothèques ou de chercheurs,

dictionnaires spécialisés, bibliographies courantes, bibliographies non périodiques, listes de périodiques, catalogues de bibliothèques, bibliographies régionales et spéciales...

Un index d'auteurs et de titres, un index-matières et un index par pays facilitent l'utilisation de ce recueil, qui constitue un ouvrage de base et d'orientation pour toute recherche bibliographique dans le domaine agricole.

M. L. C.

Le Directeur-Gérant : B. LACLAVIÈRE.

Imprimerie Bussière à Saint-Amand (Cher), France. — 15-1-1959.

Dépôt légal : 1er trimestre 1959 *N° d'impression : 214*

TRAVAUX EFFECTUÉS PAR LES STATIONS AGRONOMIQUES EN 1957

PLAN

I. — Introduction.

II. — Méthodes et Techniques.

III. — Étude du sol.

IV. — Pédologie. Étude de terroirs.

V. — Physiologie végétale.

VI. — Amendements.
Calcaires.
Humiques.

VII. — Fertilisation.
Expérimentation générale.
Fumure azotée.
Fumure phosphatée.
Fumure potassique.
Engrais divers.

VIII. — Oligo-éléments.

IX. — Divers.

X. — Bibliographie.

XI. — Table des matières.

XII. — Table par noms d'auteurs.

I. — INTRODUCTION

Comme l'an dernier, nous présentons sous forme aussi condensée que possible les résultats des expériences et essais effectués par les Stations Agronomiques, au cours de 1957.

Ce texte, destiné aux lecteurs des Annales Agronomiques, certains nous reprochent de ne pas lui donner une plus large diffusion dans les milieux agricoles.

Il est indispensable que nous fassions chaque année le point de nos travaux, et que nous indiquions les grandes lignes de nos recherches, les méthodes utilisées, les résultats acquis et leurs applications possibles. Mais les exposer aux non spécialistes n'est pas aussi aisé que d'aucuns pourraient le croire.

D'une part, des comptes rendus annuels sont forcément fragmentaires et il n'est pas toujours possible d'en dégager des conclusions directement utilisables par les agriculteurs.

D'autre part, il s'agit de recherches et d'expériences, dont les résultats sont exposés tels quels, sans souci de vulgarisation.

En Science agronomique, plus que dans toute autre, il est toujours nécessaire de s'exprimer clairement et ce n'est un secret pour personne — même pas pour eux — que les hommes de laboratoire ont beaucoup de mal à abandonner leur langage spécial lorsqu'ils s'adressent à des non initiés.

Par contre, il y a une limite à ce que le chercheur(même en admettant qu'il acquiert cette simplicité) peut faire comprendre à un interlocuteur, et cette limite est le degré de réceptivité de ce dernier.

Il ne viendra à l'idée de personne d'expliquer un problème d'échecs à qui ne connaît pas la règle du jeu.

Il en est de même en Sciences et c'est là toute la difficulté de la vulgarisation, agricole ou autre : Un sujet ne peut être compris que dans la mesure où il se trouve au niveau des connaissances du lecteur.

C'est une des raisons, parmi tant d'autres, qui milite en faveur de l'enseignement et de la formation professionnelle agricoles.

Dans un monde en pleine expansion démographique, le problème de la nourriture de l'humanité doit être la préoccupation primordiale de tous les dirigeants. Ce problème ne pourra être résolu que par l'application de techniques agronomiques nouvelles, résultats de la Recherche.

Or, ces techniques ne peuvent être employées efficacement que si l'utilisateur, c'est-à-dire l'agriculteur, est à même de les comprendre et de les adapter à son cas particulier.

L'instruction de l'agriculteur est d'autant plus nécessaire que la Recherche agronomique ne consiste pas uniquement à découvrir des faits nouveaux et à en tirer des conclusions pratiques, qu'il serait, somme toute, relativement facile d'exposer, sous forme de « recettes de cuisine ».

Pour être véritablement féconde, cette Recherche agronomique doit classer les faits selon des lois générales qui permettront la découverte de nouvelles données : il n'y a plus alors de frontières entre ce que certains appellent la « science pure » et la « science appliquée ».

D'ailleurs, que l'on ne s'y trompe pas, l'application pratique exige la solution de problèmes aussi ardus et souvent plus complexes que la découverte originale.

C'est donc un leurre que d'espérer pouvoir mettre à la portée de tous, sans préparation préalable, les sujets parfois très compliqués que nous propose la science agronomique moderne.

On parle beaucoup actuellement de la trilogie : Recherches — Vulgarisation — Enseignement.

Ces trois ordres d'activité sont en effet intimement liés, en ce sens que la Recherche ne peut être vraiment utilisée par la Vulgarisation que si l'Enseignement est largement diffusé.

C'est la condition essentielle pour que les progrès réalisés dans les laboratoires puissent, en entrant dans la pratique courante, donner leur pleine efficacité.

P. BOISCHOT.
Directeur de la Station centrale
d'Agronomie (Versailles).

II. — MÉTHODES ET TECHNIQUES

L'analyse granulométrique par densimétrie. — Mme S. MÉRIAUX (*Dijon*).

L'auteur, après avoir indiqué le principe de la méthode densimétrique, en détaille le mode opératoire et insiste sur le calcul des résultats, c'est-à-dire la transformation, à partir de deux abaques à droites parallèles, des densités lues sur la tige du densimètre en pourcentages cumulés et des temps correspondant à chaque lecture en diamètres.

Le détail de cette méthode a été exposé dans une note parue dans le Bulletin de l'Association Française pour l'Étude du sol (1957, p. 928-941).

Méthode densimétrique d'analyse granulométrique. — J. DELMAS, C. JUSTE, P. DE MONTLEAU (*Pont-de-la-Maye*).

Cette méthode, comparable à celle utilisée par Mme MÉRIAUX, permet la détermination rapide et précise des taux de fractions argileuses et limoneuses des sols.

Un certain nombre de modifications d'ordre uniquement pratique ont été apportées ; ce sont :

1° Filtration accélérée sur Büchner.

2° Utilisation de tableaux traduisant le nomogramme de Brajnikow.

3° Utilisation de la relation de Casagrande qui facilite la détermination de la hauteur effective quelle que soit la forme du densimètre utilisé.

Les résultats obtenus par la mise en œuvre de cette méthode sont tout à fait satisfaisants et comparables a ceux obtenus par la méthode classique de Robinson.

Les détails de cette technique ont paru dans le *Bulletin de l'Association Française pour l'étude du sol*, 1957.

Mise au point de la technique des Analyses granulométriques en grande série. — J. BORDAS, Mme HUGUET, Y. MEYNADIER (*Avignon*).

Pour les analyses en grandes séries des sols calcaires, salés ou non salés de notre région, pour lesquels la teneur en matière organique est en général inférieure à 3 p. 100, on a adopté une méthode rapide, ne

comportant pas de traitement à l'eau oxygénée, ni d'échange au chlorure de potassium. Grâce à l'emploi de l'hexamétaphosphate comme dispersant, on réalise une stabilité dans la dispersion de la suspension bien supérieure à celle obtenue par l'emploi du citrate et une reproduction fidèle des proportions des différentes fractions granulométriques. Une étude complète de cette question a paru dans le *Bulletin de l'Association Française pour l'étude du sol* (février 1958).

Observations sur l'évaluation au laboratoire de la stabilité structurale. Mme S. MÉRIAUX et B. LAMONTRE (*Dijon*).

Des déterminations d'indice d'instabilité structurale I_s et de coefficient de perméabilité K ont été effectuées d'après les méthodes du Laboratoire des Sols de Versailles, sur 96 échantillons représentant des types de sols et sous-sols de Bourgogne très différents. Ce travail a permis un certain nombre d'observations concernant les méthodes et leur utilité.

1° Méthodes

a) ANALYSE D'AGRÉGATS. — Pour un opérateur ayant bien déterminé le nombre minimum de rotations du tamis correspondant à son tour de main, la reproductibilité est bonne. L'erreur absolue sur I_s est toujours inférieure à 0,01 et l'erreur relative n'a jamais dépassé 4,5 p. 100 ; elle est souvent beaucoup plus faible. Sur la détermination du taux de chaque catégorie d'agrégats, l'erreur absolue est inférieure à 6, et l'erreur relative comprise entre 0,3 et 15 p. 100.

b) MESURE DU COEFFICIENT DE PERMÉABILITÉ. — Dans le cas des sols de Bourgogne, l'erreur absolue est comprise entre 0,01 et 6, entraînant une erreur relative de 1 p. 100 à 37 p. 100.

Une erreur exceptionnelle de 78 p. 100 semble être imputable à une hauteur d'eau trop importante au remplissage.

2° Résultats

Les résultats représentés sur un graphique logarithmique se groupent en un nuage de points pour lesquels il n'a pas paru opportun de chercher une corrélation entre log 10 K et log 10 I_s. Il semble que la droite moyenne puisse être considérée comme voisine de celle que le laboratoire des Sols a déterminée, à savoir :

$$\log 10\ K = 2{,}5 - 0{,}8 \log 10\ I_s.$$

Outre la confirmation des observations faites par les auteurs de la méthode, il se dégage que :

1° Le taux d'agrégats sans prétraitement et après traitement à l'alcool varie dans le même sens que la teneur en argile et en fer libre.

2° A égalité de valeur de I_s, et de taux de matière organique pour des sols acides, la perméabilité croît avec le pH.

3° Dans tous les cas où le taux d'argile est au moins égal à 30 p. 100 et le taux de limon égal ou inférieur à la moitié de cette valeur, la stabilité de la structure est élevée. Quand ces données granulométriques ne sont pas remplies, la stabilité peut être quand même élevée, soit parce que le taux de matière organique est important, soit pour d'autres raisons pas encore expliquées.

Opportunité de la méthode

Elle permet de contrôler les présomptions faites sur le terrain dans le cas de sols battants, et de conseiller les agriculteurs sur l'efficacité du travail des couches profondes en complétant de façon indispensable les indications granulométriques.

Contribution au dosage des bases échangeables et à la détermination de la capacité d'échange et du taux de saturation du complexe absorbant. — J. DELMAS et A. DARTIGUES (*Pont-de-la-Maye*).

Les auteurs ont cherché à préciser les conditions d'emploi de certaines méthodes dans le but de simplifier le travail analytique.

Le schéma analytique ci-joint résume les opérations effectuées.

SCHÉMA ANALYTIQUE

Bases échangeables

Terres calcaires > 1 % et < 15 %	*Terres non calcaires*
K, Na, Mg : même extraction et même dosage que pour terres non calcaires. *Ca* : extraction au *chlorure de sodium* (méthode Hissink) — deux extractions successives — évaluation de CO^3Ca passé en solution par différence — dosage Ca au versenate.	Extraction à l'*acétate d'ammonium* N neutre. 20 g de terre pour 250 cc d'extractif en extraction continue sous niveau constant. Prise : 100 cc d'extrait pour dosage des bases. *K* : photométrie de flamme. *Na* : photométrie de flamme. *Mg* : versenate (méthode Mazoyer modifiée). *Ca* : photométrie de flamme ou versenate.

Somme des bases échangeables S (méthode Bray Willhite modifiée)

S = Ca + Mg + Na + K.	Sur 150 cc de l'extrait à l'*acétate d'ammonium* — contrôle par Ca + Mg + Na + K.

Capacité totale d'échange T

Extraction à l'*oxalate d'ammonium*. N/10 neutre (méthode Riehm-Ulrich) 10 g de sol par 250 cc d'extractif (20 g pour sols sableux) — suivie de centrifugation — dosage de NH^{4+} par méthode Kjeldahl.	Pour mémoire : contrôle de S + H^+ si désiré par méthode Riehm, pratiquement T = S + H^+

Acidité hydrolytique H^+

H^+ : généralement nul.	Méthode de F. W. Parker à l'*acétate de Baryum* N et neutre. Dosage par titrage électrométrique.

	CO_3Ca %	pH eau	En milliéquivalents pour 100 g de sol										V S/T × 100	C ‰	Argile %
			Bases échangeables					S		H^+	T				
			Ca		Mg	Na	K	K + Ca +Mg+Na	Br. Wh.		S + H	Riehm			
			fl.	vers.	vers.	fl.	fl.								
459a	0	4,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,1	1,2	1,2	7,1	8,3	—	14	27,4	—
478a	0,5	5,3	3.1	3,35	0,2	0,2	0,15	3,65	3,65	6,6	10,25	—	36	26	—
415a	0	5,8	8,8	—	0,5	0,3	0,45	10,05	10,2	5	15,2	15,8	67	25,4	27,8
470a	0	6,1	3,4	3,25	0,4	0,08	0,45	4,33	4,55	2,2	6,75	—	67	11,7	—
420a	0	6,2	3,9	4,5	0,4	0,15	0,15	4,6	4,5	1,5	6	6,5	75	8	12
422a	0	6,5	4,7	4,5	0,5	0,1	0,1	5,2	4,9	1,5	6,5	—	75	11,4	11,4
436a	0	6,7	4,2	4,4	0,4	0,1	0,25	5,2	5,3	1,4	6,7	—	79	8,4	22,4
426a	tr. f. traces	6,8	8,05	7,5	0,5	0,2	0,25	9-8,5	8,5	1,6	10,1	—	84	13,1	21,5
409a	f. tr.	6,8	9	9,1	0,9	0,2	0,45	10,5	10,2	1,6	11,8	11,5	86	16,7	23,9
413a	0	7,4	4,6	5,9	0,5	0,15	1,0	6,3-7,5	7,3	0,9	8,2	8,5	89	9,9	12,3
411a	8,8	8,1		8,4	1,6	1,1	0,3	11,4	—	0	11,4	11,5	100	9,6	18,6
418a	9,0	8,3		12,3	0,8	0,35	0,25	13,75	—	0	13,75	15	100	9,4	25,2

Le tableau précédent donne un certain nombre de résultats pour des terres de réaction, de taux de matières organiques et de taux d'argile variés.

On notera la relation étroite qui existe entre le pH mesuré par électrode de verre $\left(\text{rapp.}\ \frac{\text{terre}}{\text{eau}} = \frac{1}{2{,}5}\right)$ et le taux de saturation du sol en bases échangeables.

On a fait figurer sur ce tableau le résultat obtenu par les différentes méthodes et on peut comparer ces résultats entre eux en ce qui concerne S. et T.

On trouve une bonne correspondance des chiffres obtenus pour S. ou T. par une des méthodes envisagées.

Conclusions. — Les auteurs préconisent des méthodes simplifiées par rapport aux méthodes classiques, notamment en ce qui concerne les points suivants :

dosage du Ca au versenate au lieu de précipitation à l'oxalate,

centrifugation de l'extrait à l'oxalate d'ammonium au lieu de décantation,

emploi de la photométrie de flamme pour K. Na, notamment.

Une mise au point détaillée de l'emploi de ces méthodes sera publiée dans les *Annales agronomiques*.

Applications de la thermogravimétrie à l'étude des sols carbonatés. — R. Guennelon (*Avignon*).

L'analyse thermogravimétrique appliquée à l'étude des sols doit permettre de différencier les différents sels présents (carbonates, sulfates, chlorures), alors que l'analyse chimique ne permet que de doser les anions et les cations, sans pouvoir identifier les combinaisons.

Les carbonates (Ca et Mg) sont facilement dissociables, le carbonate de sodium l'est également en présence de catalyseurs ; le sulfate de calcium présente un début de dissociation au-dessous de 1 000° en présence de SiO_2. L'application semble possible, avec des déterminations quantitatives, pour des sols salés et carbonatés. L'utilisation de l'analyse thermique différentielle doit permettre d'obtenir de meilleures précisions. Un mémoire sur cette question a été publié en 1957 dans la revue de *Chimie Analytique*, p. 334.

Application des techniques minéralogiques à l'étude des sols. — R. Guennelon (*Avignon*).

On a essayé de mettre en évidence pour quelques profils complexes ou en apparence simples, l'intérêt que l'on peut avoir à appliquer les techniques de la minéralogie à la pédologie : étude des sables par gra-

nulométrie, au point de vue morphoscopique, et au point de vue minéralogique, identification des colloïdes minéraux. On a pu ainsi montrer qu'un sol sableux sur sables provenant de grès cénomaniens était particulièrement pollué par des apports plus récents (sables de l'Éocène inférieur, et mollasse helvétienne).

De même, un sol brun calcaire lessivé sur cailloutis présente une hétérogénéité manifeste quant à la nature de son argile : le kaolin diminue en profondeur, alors que l'illite augmente ; comme les apports grossiers sont analogues sur tout le profil (cailloux roulés calcaires), on peut admettre qu'après la mise en place de ce matériel, des apports plus fins provenant de matériaux kaoliniques voisins sont venus s'ajouter aux alluvions plus anciennes.

L'intérêt de ces techniques est également de permettre des déterminations que l'on peut relier aux propriétés physiques, et chimiques du sol étudié.

Un mémoire sur cette question paraîtra prochainement dans le *Bulletin de l'Association française pour l'étude du sol.*

Dosage de Ca et Mg en présence de quantités notables de P. — J. DELAS (*Versailles*).

Le dosage de Ca et Mg par les complexons en présence de quantités notables de P_2O_5 (par exemple graines) est impossible par suite de la formation d'un précipité à pH 12 et de la disparition rapide de la coloration due à l'ion Ca.

Quantité de P_2O_5 dans 50 cc	Nombre de cc de sel disodique de l'E. D. T. A. M/48	
	Dosage Ca	Dosage Ca + Mg
0	1,88 (1,445 mg Ca)	2,96 (0,503 mg Mg)
229 γ	1,84 — 1,88 après 1 min.	2,96
458 γ	Léger louche 1,50 — 1,86 après 10 min.	2,96
687 γ	Léger précipité 1,50 — 1,80 après 25 min.	2,96
2,29 mg	Trouble. La solution devient mauve dès le début du dosage	2,96

Le titrage en retour ne permet pas d'éliminer cette cause d'erreur :

P_2O_5 en γ par 50 cc		
0	Titrage direct	Ca = 1,46 mg
0	Titrage en retour	Ca = 1,44 mg
229 γ	»	Ca = 1,40 mg (— 2,7 %)
572 γ	»	Ca = 1,40 mg (— 2,7 %)
687 γ	»	Ca = 1,36 mg (— 5,5 %)
1,145 mg	»	Ca = 1,28 mg (— 11,1 %)

On peut dans ces conditions envisager l'utilisation de résines échangeuses d'ions, ou des séparations par voie chimique.

L'auteur a utilisé une méthode préconisée par VAN THIEL et TUCHER (*Agr. Food Chem.*, 5-6-6, 1957) pour doser Mg dans les engrais : précipitation des phosphates par un sel ferrique à un pH suffisamment bas pour que Mg ne précipite pas. Des essais sur solutions synthétiques ou sur liqueurs d'attaque de grains ont montré que la méthode n'entraîne aucune perte de Ca ou Mg par précipitation ou rétention sur le précipité. Les réactifs utilisés, en plus des produits habituels de la titrimétrie par les complexons sont :

solution de fer : dissoudre 136 g de $(SO_4)_2Fe\ NH_4$, 12 H_2O dans de l'eau distillée en présence de 5 cc de SO_4H_2 concentré. Amener à 1 litre.

NaOH 0,5 N et 0,05 N.

Méthode proposée (cas des grains) : le dosage est fait sur la liqueur d'attaque chlorhydrique de 5 g de grains calcinés. Ajouter NaOH 0,5 N (0,05 N pour terminer) goutte à goutte jusqu'à ce que le pH soit égal à 4,0 (utiliser un agitateur magnétique). Précipiter alors les phosphates par la solution ferrique (1 cc de cette solution pour 20 mg de P_2O_5 environ). Précipiter l'excès de fer en amenant le pH à 5,0 avec NaOH 0,5 N et 0,05 N ; ajouter la soude lentement pour éviter la précipitation locale de Mg. Enlever et rincer les électrodes. Filtrer à la trompe. Rincer avec le minimum d'eau tiède. Amener à volume et doser Ca et Ca + Mg selon la méthode habituelle (sans supprimer l'addition de cyanure de potassium).

Etude des pertes de Ca et Mg sur des solutions synthétiques.

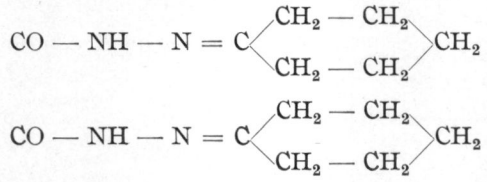
P_2O_5 Mg	Ca présent en mg	Ca trouvé en mg	différence	Mg présent	Mg trouvé	différence
—	—	—	—	—	—	—
3,43 mg.....	0,75	0,74	— 1,3 %	0,75	0,745	— 0,8 %
3,43 mg.....	0,50	0,50	—	0,75	0,73	— 2,6 %
6,87 mg.....	1,48	1,49	+ 0,6 %	0,90	0,89	— 1 %
6,87 mg.....	1,48	1,45	— 2 %	0,90	0,90	—
6,87 mg.....	1,48	1,46	— 1,3 %	0,90	0,91	+ 1,1 %
6,87 mg.....	1,48	1,46	— 1,3 %	0,90	0,88	— 2,2 %

	P_2O_5 mg	Ca E D T A	Ca oxalate	
	—	—	—	—
Blé (5 g) 1.....	47,3	1,76	1,80	+ 2 %
Blé 3.....	45,6	1,76	1,82	+ 3,3 %

	P_2O_5 mg	Ca E D T A	Différence
	—	—	—
Blé 2.....	46,2	1,72	
Blé 2 + 1 mg Ca.....		2,62	— 3,6 %
Blé 4.....	46,4	1,72	
Blé 4 + 1,5 mg Ca.....		3,20	— 0,6 %

Sur une nouvelle méthode colorimétrique de dosage de Cuivre dans les plantes. — Mlle R. MAZOYER (*Antibes*).

Le bis-cyclohexanone oxalyldihydrazone



fixe en milieu alcalin les ions cuivreux et cuivriques sous la forme d'un complexe coloré. Ce complexe bleu est stable. Cette méthode colorimétrique a été mise au point par G. NILSSON et appliquée par C. WETLESEN et G. CRAN (1) (2). Elle a été reprise par T. R. WILLIAMS et R. T. MORGAN (3) et récemment par E. SOMERS et L. J. GARRAWAY (4) pour le dosage du Cuivre dans les extraits de végétaux. Nous avons employé cette méthode avec succès en adoptant la technique suivante, après l'étude du pH optimum au développement de la réaction colorée.

Réactifs. — Dissoudre 0,3 g de bis-cyclohexanone oxalyldihydrazone dans 100 cc d'un mélange chaud (50°C environ) et en parties égales d'eau déminéralisée et d'alcool éthylique redistillé neutre. Filtrer et laisser refroidir avant l'emploi.

Citrate d'ammonium R. P. 20 p. 100 en solution aqueuse.

Soude R. P. 5 p. 100.

Phénolphtaléine à 0,05 p. 100 dans un mélange en parties égales d'eau déminéralisée et d'alcool éthylique redistillé neutre.

Solution étalon de Sulfate de Cuivre dosant 100 mg Cu/litre.

Méthode. — Prélever 25 cc de l'extrait chlorhydrique des cendres à doser, ou une partie aliquote (0 à 50 γ Cu ou 0 à 30 γ Cu) dans un ballon jaugé de 50 cc.

Ajouter 5 cc de citrate d'Ammonium.

Ajouter 2 cc de la solution de phénolphtaléine.

Neutraliser par la soude goutte à goutte, jusqu'à l'apparition de la couleur rose (le pH est ainsi très voisin de 8,3).

Ajouter 2 cc du réactif.

Agiter énergiquement.

Attendre 10 minutes.

Colorimétrer.

Avec l'appareil Jean et Constant, la longueur d'onde choisie est 6 000 Å et l'épaisseur des cuves de 3 cm pour la courbe étalon 0-50 γ Cu dans 50 cc et de 5 cm pour la courbe étalon 0-30 γ Cu dans 50 cc.

La courbe étalon est faite dans les mêmes conditions ainsi que l'essai à blanc.

Interférences. — L'étude des principaux ions susceptibles d'interférer dans les extraits de plantes, nous a permis d'établir que la courbe de dosage des solutions étalons dosant 0 à 50 γ Cu dans 50 cc n'était pas modifiée quand ces mêmes solutions ne contenaient pas des quantités dépassant :

3 mg	P_2O_5
3 mg	Ca
500 γ	Mg
250 γ	Zn
100 γ	Mn
100 γ	Fe

Ces taux correspondent à des concentrations moyennes de ces différents ions dans les végétaux. Toutefois les concentrations en Fer et en Manganèse peuvent être supérieures dans certains cas. Il est alors possible de faire, sans erreurs appréciables, une courbe étalon avec des solutions de 0-50 γ Cu dans 50 cc contenant du Fer et du Manganèse jusqu'à 500 γ pour cette même dilution.

Bibliographie. — (1) NILSSON (G.). — *Acta Chem. Scand.*, 4, 205 (1950) in Monograph n° 12, Hopkin and William Ltd. — (2) CARL-ULRICH WATLESEN and GUNNAR GRAN. — Svensk Papperstidning, 55, 212 (1952). — (3) WILLIAMS (T. R.) and MORGAN (R. T.). — *Chem. and Ind.*, 1954, 16, 461. — (4) SOMERS (E.) and CARRAWAY (J. L.). — *Chem. and Ind.*, mars 1957, p. 395.

Analyse des roches dolomitiques par dosage simultané du Calcium et du Magnésium. — Th. et J. DUPUIS (*Lab. géol. I. N. A.*).

Mise au point d'une méthode d'analyse gravimétrique des roches dolomitiques (dolomies et sables dolomitiques) en vue de leur utilisation comme amendements. Cette méthode peut être étendue à l'étude des bases échangeables et des solutions du sol. (*Mikro Chimica Acta*, n° 2, 1957).

L'analyse comporte les opérations suivantes :

solubilisation de la roche par l'acide chlorhydrique ;

élimination du fer par extraction à l'éther ;

précipitation simultanée du calcium et du magnésium par le réactif de Schaffgotsch ;

thermolyse à l'air du précipité mixte ;

deux pesées, l'une après chauffage à 550° donnant MgO CO_3Ca et l'autre après chauffage à 950° donnant MgO CaO.

La précision est meilleure que par complexométrie.

Attaque de la matière organique des sols par l'eau oxygénée et libération de l'azote. — L. TURC (*Lab. des sols, Versailles*).

L'attaque d'un sol contenant de la matière organique par l'eau oxygénée libère de l'azote. L'allure de la courbe quantité de matière

organique détruite en fonction du nombre d'attaques à l'eau oxygénée peut varier avec les divers sols ce qui peut permettre de caractériser les matières organiques. On constate que le rapport C/N des fractions détruites est voisin de 10, alors que celui des fractions résistantes est beaucoup plus variable. Les matières organiques relativement jeunes sont particulièrement sensibles au traitement. (*C. R. Ac. Agr.*, 1957, t. 43, p. 231).

Essai d'extraction du soufre et du phosphore organique par attaque des sols à l'eau oxygénée. — E. M. BASTISSE (*Lab. des Sols, Versailles*).

L'attaque des sols par l'eau oxygénée libère des quantités importantes de soufre. On pourrait vraisemblablement utiliser cette méthode pour apprécier les quantités de cet élément facilement disponibles pour le végétal, dans un sol donné. Des quantités importantes de phosphore sont également libérées au cours de ces attaques. Toutefois, l'interprétation des résultats est plus délicate que dans le cas du soufre. (*C. R. Ac. Agr.*, 1957, t. 43, p. 233).

Étude des matières organiques. — L. TURC et Mme LUSINANG (*Lab. des Sols, Versailles*).

Les auteurs ont poursuivi leurs recherches concernant l'hydrolyse de la matière organique des sols par attaques successives à l'aide de divers réactifs. Il n'est pas encore possible de tirer de conclusions de ces essais.

Par contre, la méthode de fractionnement par densité de la matière organique du sol a été utilisée avec succès pour suivre l'enracinement des plantes de prairie et étudier leur influence sur la formation d'une structure stable.

Des études ont été entreprises, pour mettre en évidence l'influence des propriétés du sol sur l'activité des vers de terre et l'action de ces animaux et des collemboles sur la formation de la structure, l'évolution des matières organiques et leur mélange avec la matière minérale. Les résultats confirment l'efficacité considérable de ces animaux et le mécanisme de leur action fait actuellement l'objet d'expériences.

Test Aspergillus niger. — R. CHAMINADE et A. LECOCQ (*Versailles*).

Le principe de ce test consiste en la détermination de l'augmentation de la vitesse de croissance de l'Aspergillus niger sous l'influence des substances humiques. On compare pour cela le poids du mycelium dans des milieux témoins ou additionnés de substances humiques, après un temps de culture correspondant sensiblement à la moitié du temps nécessaire au développement complet.

En raison de l'extrême sensibilité de l'Aspergillus aux conditions extérieures de son développement, il a été nécessaire de standardiser de façon rigoureuse ces conditions. La culture est réalisée dans des tubes de verre de 28 mm de diamètre plongés dans un thermostat dont la température est maintenue à 37° ± 0°05. Le renouvellement de l'air est assuré par le passage d'un volume contrôlé. Chaque essai comporte 220 tubes. Le dispositif expérimental a été réalisé pour permettre l'étude statistique des résultats.

Dans ces conditions les résultats sont parfaitement reproductibles. La technique étant maintenant au point, des essais sont en cours sur le fractionnement des extraits humiques actifs sur l'Aspergillus afin d'en séparer les substances de croissance.

Possibilité d'éliminer par une résine anionique le fer et quelques autres cations gênants pour le dosage du calcium et du magnésium par le versenate. — Mlle MAZOYER (*Antibes*).

L'idée de cette technique nous a été suggérée par des observations de WALTER E. MILLER parues dans *Analytical Chemistry* (1957, p. 1891). En étudiant certaines réactions de résines anioniques, cet auteur convertit notamment sous la forme thiocyanate, la résine Amberlite I. R. A. 400. La résine ainsi obtenue se colore en rouge au cours de la percolation d'une solution riche en ions ferriques. C'est une méthode rapide et spectaculaire d'analyse qualitative des ions Fe^{+++}. Nous avons essayé d'utiliser cette technique pour éliminer l'excès de fer perturbant le virage du phtaléinecomplexone et du Murexide dans le dosage du magnésium et du calcium par le versenate. Le fer est retenu ainsi que les autres cations compléxés par le thiocyanate, tels que le cuivre et le cobalt (dans le cas du cobalt, la résine devrait se colorer en bleu, en réalité la coloration est verte car l'Amberlite de Paris-Labo employée, est jaune). Comme il était à prévoir, le calcium et le magnésium se retrouvent intégralement dans le percolat. Cette résine anionique a d'autre part, l'avantage de retenir les phosphates dont un trop grand excès fausse les résultats du dosage au versenate.

Mais le blocage des ions ferriques n'est pas définitif. Il se produit un phénomène de désorption du thiocyanate ferrique si l'on fait passer une trop grande quantité de solution. Il faut donc une hauteur de colonne suffisante pour éliminer, sinon totalement, du moins en grande partie, le fer gênant et arrêter le passage de la solution quand toute la résine est colorée en rouge.

Pour remettre la résine en service il suffit de laver avec de l'eau distillée jusqu'à élimination totale de la couleur rouge.

TECHNIQUE POUR LA PRÉPARATION DE LA RÉSINE

Agiter la résine pendant dix minutes avec une solution de thiocyanate de potassium à 10 p. 100. Décanter. Recommencer l'opération une seconde fois. Laver à l'eau distillée jusqu'à élimination totale de l'excès de thiocyanate.

Dosage de petites quantités de Baryum en solution calcique. Dosage du Magnésium en présence de quantités relativement importantes de Calcium. — P. LEFÈVRE (*Amiens*).

a) BARYUM.

Après essai de diverses techniques de précipitation et de détermination de la teneur en Baryum du précipité, des modes opératoires simples ont été mis au point permettant d'effectuer le dosage du Baryum en solution dans l'Acétate de calcium normal par gravimétrie ou colorimétrie.

b) MAGNÉSIUM.

Les quantités de Magnésium présentes dans les extraits de sol préparés pour le dosage des Bases échangeables, sont d'une manière très approximative, dans les sols de la région, de l'ordre du vingtième de celles du calcium. Il est donc difficile d'obtenir un volume admissible simultané pour chacun des deux éléments, dans le dosage complexométrique par différence.

Pour remédier à cet invéconnient une technique simple a été mise au point. Elle est basée essentiellement sur l'emploi d'une solution plus diluée de versenate pour le dosage de Mg et d'un double dosage avec solutions de concentration courante et diluée pour le Calcium.

Les techniques employées pour les dosages de Ba, Ca et Mg seront publiées dans les notes analytiques des Annales.

Pédologie expérimentale *(Lab. des sols, Versailles).*

L'évolution accélérée des profils de sol en place a permis d'obtenir par des apports de matières organiques complexes (foin de luzerne) des mouvements notables de fer et de matières organiques (TURC).

Des études portant sur l'influence de la silice, de l'acide phosphorique et de divers anions actifs sur les sols et les hydroxydes sont actuellement en cours (E. M. BASTISSE).

III. — ÉTUDE DES SOLS

Nouvelles recherches sur l'influence des sels dans la désagrégation des roches. — G. PEDRO (*Lab. des sols, Versailles*).

Traitement du granite et de la lave de Volvic par alternance de dessiccation et d'humidification, c'est-à-dire avec la succession : cristallisation-dissolution en présence de solutions salines. Une *certaine* désagrégation a été obtenue au bout de 3 mois. Deux points importants ont été mis en évidence :

a) L'agressivité du sel dépend non de sa nature chimique, mais de son aptitude à cristalliser parfaitement et sans molécules d'eau.

b) La résistance des roches est beaucoup plus liée à leur structure qu'à leur composition minéralogique (*C. R. Ac. Sc.*, 1957, t. 244, p. 2822).

Mécanisme de la désagrégation du granite et de la lave de Volvic sous l'influence des sels de cristallisation. — G. PEDRO (*Lab. des Sols, Versailles*).

Dans cet essai, on a favorisé la désagrégation en ne provoquant que la croissance des cristaux sans dissolution ultérieure. Mise en évidence de deux caractères des roches intervenant dans ce type de désagrégation : porosité et rugosité des surfaces, suivant ces caractères, la désagrégation se fait superficiellement.

— soit par rabotage des aspérités ;
— soit par déchaussement des minéraux.
(*C. R. Ac. Sc.*, 1957, t. 245, p. 333).

Mise en évidence d'un effet de dislocation du granite à biotite par traitement à l'eau oxygénée. — S. HÉNIN, G. PEDRO (*Lab. des Sols, Versailles*).

H_2O_2 aussi bien à froid qu'à chaud a provoqué une dislocation complète des fragments de granite type Vire. La mordorisation et la pulvérisation des paillettes de micas est probablement cause de cette fragmentation.

Ce résultat montre en outre que le traitement classique de destruction de la matière organique des terres utilisant H_2O_2 ne peut convenir dans le cas des sols jeunes développés sur roches granitoïdes (*C. R. Ac. Sc.*, 1957, t. 245, p. 1451).

La texture des pyrophyllites et son influence sur leur courbe thermique différentielle. — S. HÉNIN, J. ORCEL et Mlle CAILLÈRE (*Lab. des Sols, Versailles*).

Les courbes thermiques d'échantillons de pyrophyllites paraissant bien cristallisées présentent une large variabilité. Cette variabilité n'est pas en relation avec les impuretés du minéral et semble devoir être rattachée à la dimension des cristaux réelle très inférieure à leur taille apparente. (*C. R. Ac. Sc.*, 1957, t. 244, p. 1383).

Sur la formation transitoire de montmorillonites dans certaines altérations latéritiques. — S. HÉNIN, S. CAILLÈRE et P. BIRAT (*Lab. des Sols, Versailles*).

Quatre échantillons de roche basique ayant subi une altération latéritique ont été examinés. La transition entre la roche altérée et la roche fraîche est très rapide. En séparant soigneusement la couche d'altération en plusieurs zones on constate qu'au voisinage de la roche fraîche on trouve de la montmorillonite, alors que dans la partie latéritisée on trouve des hydroxydes et un peu de kaolinite. (*C. R. Ac. Sc.*, 1957, t. 244, p. 788).

Synthèse d'Argiles cobaltifères. — S. HÉNIN, S. CAILLÈRE et J. ESQUEVIN (*Lab. des Sols, Versailles*).

En utilisant les méthodes décrites antérieurement, il a été possible d'obtenir toute une série d'argiles cobaltifères s'apparentant par leur constitution cristallochimique aux saponites et aux berthierines. En l'absence d'alumine, il est difficile d'obtenir des produits bien cristallisés. Cette étude paraîtra dans *Clay Minerals Bulletin*.

Propositions pour normaliser la nomenclature des minéraux argileux. — S. HÉNIN et Mlle S. CAILLÈRE (*Lab. des Sols, Versailles*).

Partant de la classification des argiles proposée antérieurement, il est possible de faire un choix dans la nomenclature actuelle. Les noms retenus correspondant à des types cristallochimiques. Par contre, les différenciations dues à la substitution des éléments chimiques et aux particularités cristallographiques sont simplement désignées par des adjectifs. On obtient ainsi une nomenclature simplifiée. (*Bull. groupe français des argiles*, t. 9, 1957).

Quelques résultats récents concernant la synthèse des minéraux argileux. — S. HÉNIN (*Lab. des Sols, Versailles*).

Revue d'ensemble des résultats obtenus par l'étude de la synthèse des minéraux argileux au laboratoire. Sauf dans les cas du fer ferrique, ces minéraux sont tous trioctaédriques. On peut introduire une certaine quantité d'alumine dans la structure, mais au-delà d'une certaine proportion on obtient un gel colloïdal. A partir des conditions de synthèse il est possible d'expliquer que les minéraux à 7 Å se forment à un pH plus bas que les minéraux à deux couches de silice. Toutefois, les conditions de formation de ces derniers dépendent beaucoup moins du pH. (*Agrochimica*, 1957, vol. 1, p. 308).

Étude d'une singularité apparente dans la carrière d'argile kaolinique de la Combe près les Eyzies (Dordogne). — S. HÉNIN et Mlle S. CAILLÈRE (*Lab. des Sols, Versailles*).

L'examen du front de la carrière fait apparaître à certains endroits que la couverture de terre brune qui recouvre la couche blanche de kaolin est recoupée par des veines blanches. On a l'impression que le kaolin remonte dans la couche de terre. L'examen comparé de ces matériaux montre que les veines blanches sont simplement constituées par le même matériau que la terre, mais celui-ci a été déferrifié probablement par l'action des matières organiques. (*C. R. Soc. Savantes*, 1957, p. 55).

Structure du Sol. — (*Lab. des Sols, Versailles*).

De nombreuses prospections ont été effectuées en France dans le but de préciser l'influence de la structure sur la croissance des plantes et l'influence des plantes et du travail du sol sur la structure.

L'examen d'un certain nombre sols de prairie, en particulier dans le Marais Poitevin, a conduit à définir une méthode d'appréciation de l'influence de la structure sur le comportement des plantes. Dans certains cas on arrive à un critère assez satisfaisant en considérant le stock d'eau retenue dans la couche utilisée par les racines.

Il est apparu que le comportement des végétaux et en particulier leur réaction à un apport d'azote était en liaison étroite avec l'état structural du sol. On en a déduit une méthode de régénération des prairies qui a déjà donné un résultat encourageant.

On a constaté, dans de nombreuses circonstances, que l'enracinement et le développement des végétaux et la réussite des semis étaient commandés par l'état obtenu à l'aide des diverses façons culturales ayant pour but de préparer le sol. Le fait n'est pas nouveau en soi, mais l'observation a montré que l'examen du profil permettait de déterminer les

erreurs commises en effectuant ces façons. Il est donc possible dans l'avenir de conseiller les agriculteurs à ce sujet.

L'étude de 15 sous-solages a montré que sauf dans les terrains renfermant en profondeur soit un alios, soit un calcaire friable, l'effet de cette façon culturale disparaissait dans le cours de l'année. Ceci explique les mauvais résultats obtenus et conduit à ne conseiller cette opération qu'avec beaucoup de prudence. D'après la littérature étrangère, il semble toutefois que l'on augmente les chances de succès en utilisant le sous-solage pour placer les engrais en profondeur (il s'agit d'une fumure supplémentaire).

Par contre, les 30 observations concernant le drainage taupe montrent que cette opération permet d'atteindre son but si le sol est convenablement choisi, ce qui dépend de sa stabilité structurale, et si l'opération est faite dans de bonnes conditions. En l'absence d'informations sur le sous-sol, on peut estimer les chances de succès à 30 p. 100.

G. MONNIER a poursuivi au laboratoire l'examen de sols maintenus en prairies pendant un certain temps. Il a constaté que l'effet produit dépend de l'espèce végétale et de la nature du traitement. Le mécanisme de l'action stabilisante fait actuellement l'objet de recherches de Laboratoire.

Pour faciliter les discussions, un projet de nomenclature et de normalisation de la description des états structuraux a été établie. Il fait actuellement l'objet de discussions.

La méthode d'évaluation de la stabilité structurale qui a été décrite ces années dernières continue à nous donner satisfaction. Dans bien des cas, lorsqu'une telle comparaison a un sens, elle a permis de confirmer les notations nécessairement un peu subjectives établies sur le terrain.

Toutefois, les opérations de tamisage sont fortement influencées par le tour de main de l'expérimentateur. FEODOROFF a mis au point une machine qui permet d'effectuer automatiquement cette opération. Les résultats obtenus seront alors comparables en valeur absolue.

L'Évolution du concept de sol et ses conséquences. — S. HÉNIN (*Lab. des sols, Versailles*).

La notion de sol fut d'abord très imprécise. Elle prit ensuite un caractère technique, le sol étant défini par la profondeur du labour. Cette définition ne fournissait pas les éléments nécessaires à la cartographie, aussi les géologues comme RISLER ont rattaché la terre à son substratum géologique. C'est la pédologie qui a apporté une définition du sol susceptible de classer les différents faciès rencontrés dans le monde. Le type de sol présente une valeur particulière car il permet d'intégrer toute une série de propriétés intéressant aussi bien le scientifique que le praticien. (*C. R. Ac. Agr.*, 1957, t. 43, p. 66).

Quelques données nouvelles concernant le bilan de la matière organique des sols. — S. HÉNIN et L. TURC (*Lab. des Sols, Versailles*).

Calcul des coefficients isohumiques et des coefficients de destruction de la matière organique dans le sol à l'aide des résultats obtenus dans les cases lysimétriques. Il ressort en particulier que le coefficient de destruction est en moyenne de l'ordre de 0,015. Dans le cas de prairies fraichement retournées, il est au moins pendant les premières années de l'ordre de 0,02, alors que pour des terres restées longtemps sans matière organique il serait préférable de prendre une valeur voisine de 0,01. Approximativement, on peut admettre qu'à l'équilibre la teneur du sol en matière organique est d'environ 20 fois la quantité apportée chaque année (*R. C. Ac Agr.*, 1957, t. 43, p. 88).

Influence de prairies temporaires sur la structure d'un sol de limon. — G. MONNIER (*Lab. des Sols, Versailles*).

Trois ans de prairies temporaires peuvent améliorer sensiblement la structure d'un sol de limon. Cet effet est très marqué, mais très localisé avec le ray grass, il l'est beaucoup moins avec le dactyle. Ce fait influence notablement le comportement des sols après qu'ils ont été retournés par le labour, d'autant plus que la couche dont la structure est améliorée repose généralement au fond de la raie. (*C. R. Ac. Agr.*, 1957, t. 43, p. 227).

Étude sur le taux d'humidité des parcelles du champ d'expérience de la station agronomique de Grignon. — R. MOREL et P. MASSON (*Grignon*).

Les taux d'humidité sont en relation linéaire avec les teneurs en N et C. En particulier, le classement de différentes parcelles suivant la capacité de rétention s'établit comme il suit : Fumier (26 p. 100) NPK (25 p. 100). Sans engrais depuis 1875 et 1902 (23,5 p. 100) ; les différences sont significatives entre les groupes de parcelles :

Fumier — NPK.
Fumier — Sans engrais depuis 1875.
Fumier — Sans engrais depuis 1902.

Étude de la structure du sol des parcelles du champ d'expérience de la station agronomique de Grignon. — R. MOREL et P. MASSON.

L'examen des taux d'agrégats déterminés après tamisage sous l'eau avec ou sans prétraitement (alcool, benzène) fait apparaître des différences significatives entre les groupes de parcelles suivants :

Fumier — NPK.
Fumier— Sans engrais depuis 1875.
Fumier — Sans engrais depuis 1902.

Les taux d'agrégats sont en relation linéaire avec les teneurs en N et C.

Le test de perméabilité indique une différence significative seulement entre les parcelles ne recevant que du fumier et celles sans engrais depuis 1875.

Les principes généraux de l'économie de l'eau dans les sols. Essai d'application aux cas des régions arides. — S. HÉNIN (*Lab. des Sols, Versailles*).

En considérant le mécanisme de l'imbibition des couches de terre, on peut montrer que l'alimentation des couches profondes dans les zones désertiques ne peut se comprendre que grâce au ruissellement qui accumule sur de petites sufaces des quantités d'eau considérables. Si l'on voulait tirer le meilleur parti possible d'un désert comme le Sahara, en supposant que toute l'eau infiltrée puisse être utilisée, on ne pourrait guère cultiver que 1/300e de sa surface. Réflexion sur une meilleure utilisation des ressources naturelles de ces régions. (*C. R. Ac. Agr.*, 1957, t. 53, p. 157).

Étude de l'érosion des sols. — R. GUENNELON (*Avignon*).

Deux mémoires ont déjà été consacrés à ce sujet : cette étude porte sur des sols situés au pied du Ventoux, sur des sables de l'Eocène. Elle fait apparaître plus nettement que les premières études, les conséquences graves de l'érosion en couches au point de vue hétérogénéité des parcelles. Du point de vue texture, on passe d'un type sableux à sable grossier (7 p. 100 d'argile, 2,6 p. 100 de limon) à un type de limon argilo-sableux (24 p. 100 d'argile, 17,3 p. 100 de limon). Le calcaire total varie de 1 p. 100 à 16,6 p. 100 et le calcaire actif de 0 à 5 p. 100. Ces sols sont tous pauvres en matières organiques (moins de 6 p. 1 000 de carbone).

De même P_2O_5, K_2O, Mn totaux subissent de fortes variations. Les éléments sous forme dite assimilable, ou échangeable, suivent également ces variations. Il s'en suit que des dépérissements par plaques sont souvent observés, qui peuvent être dus à des carences en divers éléments dus à la sélectivité de l'érosion qui agit surtout sur la fraction fine du sol.

Les effets de l'érosion ont été mis en évidence par comparaison avec les sols voisins protégés par le couvert naturel.

Cette étude sera publiée aux Annales Agronomiques.

Étude d'une poche d'argile rouge en relation avec une roche-mère calcaire. — R. GUENNELON (*Avignon*).

L'origine de la terre rouge sur calcaire dur ou dans des cavités karstiques a déjà fait l'objet de nombreuses études ; on peut la considérer comme totalement autochtone, totalement allochtone ou bien formée

pour partie, d'éléments résiduels du calcaire et pour partie, d'apports détritiques.

L'étude en question a montré une parenté absolue entre la roche-mère calcaire et la terre rouge sus-jacente : le résidu non calcaire du substratum est composé de Kaolin tout comme l'argile de la terre ; on observe une excellente continuité des propriétés physico-chimiques depuis le calcaire intact jusqu'à l'argile rouge en passant par toute une série d'échantillons de calcaires, dont l'aspect montre une altération progressive.

Les caractéristiques minéralogiques (sables, minéraux lourds) montrent également qu'il n'est pas nécessaire, dans le cas étudié, de faire appel à des apports pour expliquer la génèse de cette terre rouge. Ce travail a fait l'objet d'un mémoire dans le Bulletin de l'Association Française pour l'Étude du sol. 1957 n° 91.

Relations entre la vitesse de dilution isotopique du phosphore du sol et l'alimentation phosphatée des plantes. — R. BLANCHET (*Versailles*).

L'étude de la cinétique de la dilution isotopique permet de déterminer quelle quantité d'ions PO_4 rapidement diffusibles renferme le sol. La concentration de la solution du sol permet d'autre part de tenir compte de leur activité. En considérant à la fois ces deux données, par exemple sous forme de leur produit, on obtient une bonne corrélation avec les valeurs culturales d'une série de sols de niveaux phosphoriques variables. (*C. R. Ac. Sc.*, 1957, 244, 2739).

Alimentation phosphatée des plantes et étude des réserves phosphoriques des sols. — R. BLANCHET (*Versailles*).

La vitesse de la dilution isotopique des ions PO_4 du sol est fonction de la diminution de l'activité de ces ions intervenant lorsque l'on épuise le sol par dilution dans des volumes croissants d'une même solution. Elle est ainsi en relation avec l'énergie d'adsorption des ions PO_4. En considérant à la fois l'activité des ions PO_4 dans le sol en place, évoluée approximativement d'après la concentration de la solution du sol, et la quantité de P isotopiquement diluable en temps court, on obtient une bonne corrélation avec la réaction de divers types de sols aux engrais phosphatés. (*C. R. Ac, Agr.*, 1957, 43, 458).

Diverses formes d'adsorption du potassium échangeable dans le sol. — R. BLANCHET (*Versailles*).

En épuisant progressivement par des solutions de force ionique constante des sols de limon diversement enrichis en potassium, on obtient

une relation bien définie entre les quantités de potassium échangeable restant adsorbées et les concentrations en K des solutions en équilibre avec le sol. Cette relation obéit à la loi d'adsorption de FREUNDLICH. Sur les différents sols considérés individuellement, la même représentation fait apparaître diverses énergies d'adsorption. (*C. R. Ac. Sc.*, 1957, 244, p. 3 082).

Nutrition minérale des Plantes et énergie d'adsorption des ions minéraux sur les colloïdes du sol.. — R. BLANCHET (*Versailles*).

L'énergie d'adsorption des ions PO_4 et K^+ sur les colloïdes du sol a d'abord été étudiée à l'aide d'argiles pures. Puis les essais ont été étendus à des sols de compositions diverses. Enfin, l'influence des diverses caractéristiques physico-chimiques sur la nutrition minérale des plantes a été examinée, en comparant notamment l'alimentation dans les solutions pures et dans les sols.

Cet important travail qui fait l'objet d'une thèse de doctorat paraitra dans les Annales Agronomiques.

Dynamique du potassium dans le sol et réaction des sols aux fumures potassiques. — R. BLANCHET et A. STRASMAN (*Versailles*).

Divers tests relatifs au potassium échangeable ont été appliqués aux sols des champs d'essais de la Société Commerciale des Potasses d'Alsace, dont la réaction aux engrais est connue. Les ions K^+ échangeables obéissent dans la plupart de ces sols à des équilibres d'adsorption, caractérisés par une relation définie entre la quantité de K adsorbée et la concentration en K des solutions en équilibre avec le sol. L'énergie d'adsorption est une fonction inverse de la quantité de K adsorbée. Les sols riches en argiles illitiques en voie d'ouverture font exception, ils se comportent comme des « tampons » potassiques.

Les corrélations entre la réaction aux engrais et les tests suivants ont été examinées :

— teneur en K échangeable ;

— concentration en K de la solution du sol ;

— proportion des ions K^+ parmi les cations échangeables $\left(\frac{K}{S} \times 100 \text{ et } \frac{K}{T} \times 100\right)$;

— énergie d'adsorption.

La meilleure corrélation est obtenue avec K/S. Elle est beaucoup plus faible avec la teneur en K échangeable et l'énergie d'adsorption ; elle devient nulle avec la concentration de la solution du sol. On obtient également une assez bonne corrélation avec un indice de la forme :

i = quantité de K éch. × mobilité des ions K^+.

soit par exemple, la mobilité des ions K^+ étant une fonction inverse de l'énergie d'adsorption :

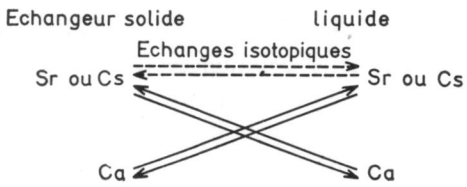
$$i = \frac{\text{Teneur en K échangeable}}{\text{énergie d'adsorption}}.$$

La nutrition potassique des plantes semble donc déterminée à la fois par la teneur en ions K^+ et en autres cations échangeables, et par la mobilité des ions K^+.

Recherches sur l'échange du strontium et du césium dans les sols. — G. BARBIER, L. DUVAL et Mlle E. TYSZKIEWICZ (*Versailles*).

L'étude de l'absorption par les plantes des éléments radioactifs apportés au sol serait simplifiée s'il était établi que la distribution relative d'un ion radioactif entre les différentes parties d'un système plante-sol donné est indépendante de la quantité de cet ion. Or cette distribution dépend des phénomènes d'échanges d'ions dont les lois sont actuellement très mal connues, en particulier dans le cas d'ions présents en très faible proportion.

Les auteurs ont envisagé surtout les échanges de Sr ou Cs contre Ca. Le système à étudier peut alors être schématisé ainsi :



1° **Echanges isotopiques.**

Si les quantités de Sr ou Cs radioactifs apportés au sol, supposés sans entraîneur, — ce qui est le cas pour les produits de fission de l'uranium 235 — sont négligeables vis-à-vis de Sr ou Cs préexistants, la distribution de Sr ou Cs ne sera pas modifiée par ces apports ; la distribution de Sr ou Cs radioactifs ne dépendra alors que des échanges entre variétés isotopiques de chacun de ces éléments, et le cœfficient de partage de la radioactivité doit être indépendant de la quantité apportée, d'après le principe même de l'emploi des isotopes comme traceurs.

Or d'après la littérature (Gabriel et Didier BERTRAND pour Cs ; J. M. BOWEN et J. A DYMOND pour Sr) la plus petite quantité de ces deux éléments qui ait été dosée dans des sols représente environ 1 000 000 de fois et 6 000 000 de fois respectivement la quantité de Cs ou de Sr radioactifs appliquée dans les expériences d'AVIGNON mentionnées par ailleurs.

Les auteurs ont vérifié que même pour des terres purifiées par lessivage au moyen de Cl_2Ca, la fraction restée en solution de ces deux éléments radioactifs — ajoutés sans entraineur — est indépendante de la quantité ajoutée, pour un intervalle de variation de 1 à 80.

Ainsi, il apparaît légitime (sous réserve d'une confirmation en ce qui concerne l'absorption par les plantes) d'appliquer dans les recherches des doses de radioactivité sensiblement supérieures à celles qui seraient éventuellement tolérées par les hygiénistes et qui ne seraient pas dosables par les procédés courants.

2° Echange de Sr ou Cs contre Ca.

Les diverses formules empiriques proposées pour représenter l'échange de cations peuvent être classées en 2 groupes : d'après les unes, la fraction d'un cation retenue par l'échangeur solide augmente indéfiniment quand la proportion de ce cation diminue et tend vers zéro (par analogie avec la formule de FREUNDLICH). D'après les autres, tant que la proportion de l'un des cations reste suffisamment petite (inférieure à 10 p. 100 par exemple de la somme des cations échangeables dans le système), le coefficient de partage de ce cation entre solide et liquide est pratiquement constant. Dans le premier cas, la courbe traduisant la quantité retenue par l'échangeur solide en fonction de la quantité restée en solution a une dérivée infinie à l'origine, dans le deuxième cas, une dérivée finie.

a) CESIUM. — En faisant varier la quantité de Cs entraîneur ajoutée à une terre de limon calcique, les auteurs ont constaté que le premier type de formule est valable pour l'échange de traces de Cs contre Ca : la fraction de Cs radioactif retenue par le solide diminue fortement par addition de traces de Cs entraîneur. Cette fraction s'est abaissée par exemple de 97, 4 p. 100 à 53 p. 100 et à 7 p. 100, par addition de quantités de Cs équivalant à la 8 000e partie et à la 40e partie respectivement du calcium échangeable. Ce phénomène n'est pas dû uniquement à ce que Cs et Ca sont de valence différente, car l'échange Cs - K suit une loi analogue.

Ces observations sont conformes au fait bien connu des expérimentateurs, que le verre des flacons et des pipettes adsorbe certains éléments radioactifs beaucoup plus fortement en l'absence qu'en présence d'entraîneur.

Ainsi la distribution du Cs radioactif entre les différentes phases du sol (et éventuellement entre le sol et la plante) peut dépendre largement de la quantité de Cs préexistant dans le sol.

b) STRONTIUM. — La distribution de Sr radioactif, contrairement à celle de Cs radioactif, a été peu influencée par la quantité d'entraîneur ajoutée.

Par ailleurs, Sr est retenu beaucoup moins fortement que Cs par une terre de limon (illitique-montmorillonitique essentiellement).

Il a été vérifié en outre que la fraction de la radioactivité retenue par le sol est d'autant plus grande que la capacité d'échange du sol est plus grande et que la capacité d'échange de la solution (le somme des cations en solution) est plus petite, comme pour tout échange d'ions.

Cette étude sur les échanges de Sr ou Cs dans le sol a pour but de faciliter la généralisation des faits observés quant au comportement de Sr ou Cs radioactifs dans des conditions pédoclimatiques particulières. Mais en même temps, elle a permis d'apporter une contribution au problème général des échanges d'ions ; la grande sensibilité du dosage des éléments radioactifs permet d'opérer sur des traces infimes, et de contrôler la validité des lois pour des cas limites.

Cinquième année d'expérience en cases de végétation de la station d'agronomie du Massif Central. Essais sur orge de printemps. — D. Collier, L. Gachon et M. Robelin (*Clermont-Ferrand*).

Comme en 1954, l'influence des conditions de sous-sol des cases sans nappe sur les rendements a été fortement atténuée, les réserves d'eau du sol ayant été très réduites cette année. Par contre, on observe un fait pouvant paraître paradoxal : la diminution de l'efficacité de la fumure azotée sur les rendements en grains avec la profondeur du sol, pouvant aller jusqu'à des valeurs négatives.

On enregistre, comme les années précédentes, une action largement positive de la nappe aquifère sur les rendements croissant avec la profondeur du niveau de l'eau. Comme précédemment, l'efficacité de la fumure azotée diminue avec la profondeur, mais pour des raisons différentes. Des reliquats d'eau d'arrosage de l'année précédente ont eu des effets semblables.

Ainsi se confirme une fois de plus que sous le climat subcontinental de la Limagne, les rendements des céréales, dans les sols sans nappe, sont généralement limités par une insuffisance d'eau à la montaison, susceptible de réduire l'efficacité de la fumure azotée. Des arrosages préventifs avant le tallage et surtout la montaison seraient donc de nature à augmenter considérablement les rendements et l'efficacité de l'azote.

D'autre part, les terres noires de Limage, par leur haute teneur en argile, leur profondeur et la nature argileuse de leur substratum présentent une grande capacité globale de rétention d'eau. Elles pourraient donc subir ces arrosages massivement, sans risques de pertes, à un moment où l'eau ne fait pas défaut. Les compléments d'eau à apporter pourraient être facilement évalués par l'examen du profil hydrique. Un plan complet d'aménagement de l'eau de la basse Limagne se doit d'envisager la ques-

tion d'irrigation des sols profonds sans nappe, à côté des problèmes d'assainissement et d'ajustement des niveaux de plan d'eau.

Ce travail a fait l'objet d'une communication présentée le 26 Juin 1957 à l'Académie d'Agriculture.

Essai de bilan de la production d'azote minéral d'un sol en place. — G. LEFÈVRE-G. HIROUX (*Amiens*).

Après deux ans d'observation sur l'évolution de l'azote minéral dans les conditions de sol et de climat du nord de la France, certains faits ont été relevés. Les résultats parus dans ces *Annales* (nº 1, 1958) utilisent les données d'une année complète. Les points les plus marquants peuvent être résumés de la façon suivante :

1º Une méthode d'interprétation des chiffres fournis par la mesure de l'azote minéral et de l'azote minéralisable a été présentée.

2º D'après cette méthode on aurait relevé une production cyclique, d'une période de trois mois, de l'azote minéral sous le climat de l'année prise en référence.

3º La minéralisation totale affecterait un pourcentage de l'azote organique plus élevé que celui admis généralement.

4º Malgré ce taux de minéralisation plus fort, la destruction des réserves ou les pertes absolues en azote minéral se rapprocheraient du coefficient appliqué habituellement à la minéralisation. Ce décalage entre la production et les pertes s'expliquent par des mécanismes de récupération liés à la nature microbiologique du cycle de l'azote.

Ces résultats seront complétés par les observations des années suivantes et par une mesure de l'effet de fumures organiques.

Diminution de la teneur en humus des terres de limon du Pays de Caux de 1924 à 1957. — Ed. JOUIS (*Rouen*).

La Station Agronomique de Rouen possède dans ses archives, les doubles de toutes les analyses effectuées depuis plusieurs dizaines d'années et il a été possible de rechercher comment a varié la teneur en azote total.

Le dosage de l'azote dans les sols par la méthode Kjeldahl, n'a pratiquement pas varié depuis 1908.

Pour les sols de limon des plateaux, il y a un rapport étroit entre la teneur en azote et la teneur en humus. Celui-ci est sensiblement égal à 20 fois la richesse en azote.

TENEURS EN AZOTE DE TOUTES LES TERRES DE LIMON EN LABOUR DE LA SEINE-MARITIME DEPUIS L'ANNÉE 1924. — Ces terres ont été réparties en 6 groupes de force analogue, savoir :

A. — 1924-1928.

B. — 1929-1934.

C. — 1935-1944 (nombre réduit d'analyses pendant la guerre).
D. — 1945-1949.
E. — 1950-1954.
F. — 1954-1957.

Pour chaque groupe, nous avons calculé les pourcentages de terres dosant successivement : moins de 1 p. 1 000 d'azote ; 1 à 1,25 p. 1 000 ; 1,25 à 1,50 p. 1 000 ; 1,50 à 1,75 p. 1 000 ; plus de 1,75 p. 1 000 soit moins de 2 p. 100 de matières organiques à plus de 3,5 p. 100.

Le résultat de ce travail est le suivant :

Azote total ‰	Mat. organ. %	A	B	C	D	E	F
Moins de 1	Moins de 2	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	10,3
1,00 à 1,25	2 à 2,5	14,3	14,2	26,2	52,0	60,0	53,7
1,25 à 1,50	2,5 à 3,0	66,0	63,0	56,5	35,0	32,0	33,1
1,50 à 1,75	3,0 à 3,5	17,4	18,4	16,2	13,0	8,0	2,2
Plus de 1,75	Plus de 3,5	2,3	1,2	1,1	0,0	0,0	0,7
		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Avec des fluctuations inévitables on constate, au cours des ans, une nette augmentation du pourcentage des terres à basses teneurs en humus et corrélativement une baisse importante des terres bien pourvues en ce constituant.

Les terres moyennes, de 1,25 à 1,50 p. 1 000 d'azote ont diminué de moitié, de 66 p. 100 en 1924-1928 à 33,1 p. 100 en 1955-1957.

Les terres assez riches, de 1,50 à 1,75 p. 100 d'azote sont passées de 17,4 à 2,2 dans le même temps, soit 8 fois moins.

Par contre, les terres assez pauvres, de 1 à 1,25 p. 1 000 ont augmenté de 14,3 à près de 60 p. 100, soit environ 4 fois.

Outre l'appauvrissement général en matière humique que dénote le tableau il faut tenir compte du fait que pendant ces dernières années de nombreux cultivateurs qui autrefois ne faisaient pas analyser leurs sols, ont envoyé des échantillons par l'intermédiaire des C. E. T. A.

Beaucoup d'entre eux cultivent des sols appauvris en humus et ont souvent demandé aux Conseillers techniques d'étudier leurs plus mauvaises terres. C'est, je crois, la raison de ce grand pourcentage de sols (10,3 p. 100) contenant moins de 1 p. 1 000 d'azote, trouvé dans la période 1955-1957.

Inversement, il se peut qu'un nombre croissant de labours dépasse, dans l'avenir, la teneur de 1,75 p. 1 000 d'azote, du fait du retournement d'un certain nombre de prairies naturelles.

Ajoutons enfin qu'une partie de l'appauvrissement en humus peut s'expliquer par un approfondissement des labours, un certain nombre de cultivateurs ayant fait passer la profondeur moyenne de 25 à 30 cm depuis une trentaine d'années.

IV. — PÉDOLOGIE. ÉTUDE DE TERROIRS

Cartographie des sols de l'Aisne. — J. HÉBERT et J. EHRWEIN (*Laon*).

Le premier objectif est de réaliser la cartographie au 20 000e des sols figurés sur la carte de France Laon 5 et 6 (13 000 hectares).

Cette région, bordée au sud par le plateau du Soissonnais est de tendance générale plate, mais avec un micro-relief très variable, dû à une érosion géologique très différente suivant les formations géologiques diverses. Il apparaît en particulier que le micro-relief ne permet en aucune manière de préjuger des types des sols, ceux-ci étant essentiellement fonction des changements de sous-sol tant par suite de changements d'étage et de faciès que d'évolution pédologique.

Une prospection de 50 km a été effectuée pour reconnaître les types de sols principaux. Actuellement le relevé systématique à raison d'un sondage à l'hectare est effectué.

Sur le terrain, la principale difficulté est la différenciation des sables limoneux et limons sableux, extrêmement voisins au point de vue sensation, mais qui, néanmoins, peuvent donner des structures superficielles différentes.

On a utilisé pour cette prospection des fiches simplifiées sur le modèle de celles utilisées par le laboratoire des Sols. Elles sont comparées en notant sur une colonne en marge la couleur correspondant à la texture des différents horizons.

La prospection systématique permet également d'étudier en détail le problème de la représentation cartographique.

On trouve en effet sur la surface à cartographier toutes les formations de texture comprises entre sables et argiles, tous les développements de profils (depuis podzols jusqu'aux sols non évolués et rendzines) avec apparition à des profondeurs très variables de formaions sableuses, argileuses, calcaires ou tourbeuses. Les différents degrés d'hydromorphie s'y rencontrent également.

Pratiquement, il semble qu'après la mise au point de la légende et de la représentation de cette carte, on puisse, sans grandes modifications l'appliquer aux autres régions du département.

En principe, on utilise pour le 5 000e :

— la *couleur* pour représenter la texture,

— le *signe* pour la profondeur :

— noir pour le changement de texture dans le cas d'un sol évolué,

— de couleur correspondant à la nouvelle texture pour une modification géologique,

— le trait noir (plus ou moins espacé suivant profondeur) pour le gley,

— les traits discontinus pour le pseudo-gley,

— la bande blanche ou points blancs plus ou moins épais pour le calcaire suivant sa profondeur d'apparition.

Cartographie des zones urbaines (*Lab. des sols, Versailles*).

Les travaux de cartographie effectués en liaison avec le M. L. R. sont actuellement terminés. Les rapports concernant 72 500 ha ont été rédigés cette année. Ils intéressent les régions suivantes : Vallée de la Bruche, Metz, Thionville, Dijon, Lyon, Castres, le Havre. L'étude de plusieurs contrées a été réalisée en collaboration avec la station départementale.

Un travail important a été effectué en collaboration avec la station de Laon pour permettre la mise en train de la cartographie du département de l'Aisne. Une esquisse de la classification pédologique des sols de la région de Laon est en cours de publication. D'autre part, de nombreux documents concernant la nature des sols de la région parisienne et des régions voisines ont pu être rassemblés à diverses occasions. Soit pour la mise en place d'essais variés (Centre d'Antony), soit pour la mise en place d'essais culturaux (Domaine du Vieux Pin, Génétique).

Enfin, nos collègues du service de recherches économiques de l'I. N. R. A. ont essayé d'interpréter le bilan financier des exploitations en s'appuyant sur des données pédologiques ; les premiers résultats obtenus sont encourageants.

L'érosion éolienne dans la région des Landes de Gascogne. — J. Delmas (*Pont-de-la-Maye*).

Les travaux entrepris en 1956 ont été poursuivis.

Des dégâts dus au sable transporté par le vent ont été relevés dans le périmètre du plateau landais sur jeunes semis (maïs) non protégés.

L'étude de l'origine des sédiments sableux des Landes confirme jusqu'à présent l'origine éolienne d'une grande partie d'entre eux.

L'étude mathématique de la répartition granulométrique des sables totaux d'une part, et des minéraux lourds qu'ils renferment d'autre part, permet de distinguer les éléments diversement remaniés, des éléments typiquement éoliens ou alluviaux.

Les travaux se poursuivent par piégeage et au laboratoire en soumettant les sables à des traitements corrosifs divers (soufflerie, transport, chocs, etc.).

Étude et cartographie des sols d'une commune des Côtes-du-Nord : Loguivy-Plougras. — M. ROBELIN, M. COPPENET et Mme HÉLIAS (*Clermont-Ferrand*).

Sur un socle primaire schisteux et granitique soumis au climat atlantique, les auteurs constatent :

1° AU POINT DE VUE PÉDOLOGIQUE, le faible degré d'évolution, lié aux conditions topographiques accusées ;

— sols cultivés : dominance des sols bruns acides (rankers bruns) quel que soit le substratum ;

— sols sous forêts ou landes : sur roches granitoïdes, tendance peu marquée vers la podzolisation ; sur roches schisteuses et amphibolitiques, formation de sols bruns acides peu ou non lessivés.

2° AU POINT DE VUE AGRONOMIQUE, la pauvreté chimique généralisée et la variabilité des facteurs physiques de production (approvisionnement en eau et air).

Une carte agronomique au 1/20 000 a été réalisée avec, pour bases :

a) la profondeur du sol (p) et la teneur en colloïdes argileux(a) reliés entre eux par l'expression $K = (a + 5)\sqrt{p}$ · (K ayant la valeur d'un indice de capacité de production) ;

b) la présence d'un excès d'eau à faible profondeur.

Ce travail a paru dans les *Annales Agronomiques*, 1957, n° 3, p. 433.

Cartographie au 1/1000 du domaine de la Grande Ferrade. — J. DELMAS, J. THIVEND et G. CAZALET (*Pont-de-la-Maye*).

L'étude du domaine de la Grande Ferrade du Centre du Pont-de-la-Maye a été entreprise en 1957 afin d'en fixer les principaux types de sols et d'en établir une cartographie à grande échelle.

Les caractères généraux des sols, leurs textures, la réaction des sols et sous-sols, la rétention pour l'eau ont été déterminés.

Une première carte a été dressée au moyen des valeurs de l'humidité équivalente et de la densité apparente du sol en place.

Une étude chimique est en cours.

L'ensemble du travail avec les différentes cartes dressées sera publié dans ces Annales.

Étude pédologique d'une zone de la Hardt située au sud de Neuf-Brisach. — P. ANNE et C. SCHENCK (*Colmar*).

Les sols étudiés sont situés sur la Basse Terrasse rhénane (niveau supérieur) ; ils sont très hétérogènes. Un essai de classification, en vue d'une utilisation agronomique sera présenté dans le Bulletin de l'Association Française pour l'étude du sol.

Caractéristiques granulométriques des lœss et sols lœssiques d'Alsace. — P. ANNE et H. METTAUER (*Colmar*).

Etude granulométrique d'un certain nombre de lœss comprenant en particulier la séparation de la fraction comprise entre 20 et 50 microns. Dans certains cas les échantillons comprenaient des sols plus ou moins lessivés en surface (lehms).

Le tableau ci-dessous donne, à titre d'exemple, les résultats obtenus sur deux profils représentant des sols à des degrés de lessivage très différents.

Origine	Formation	Horizons cm	CO^3Ca p. 100	Granulométrie en microns Eléments p. 100				
				2000 – 200	200 – 50	50 – 20	20 – 2	< 2
Eguisheim (Haut/Rhin) . . .	Loess	0 — 20	21,2	3,8	4,9	32,2	21,7	13,7
		20 — 150	33,8	0,3	2,4	36,6	17,6	8,9
		150 — 200	27,8	3,8	4,8	27,3	19,1	16,8
Pfettisheim (Bas/Rhin) . . .	Loess-lehm	0 — 30	traces	0,4	3,0	38,6	28,7	27,4
		30 — 50	1,0	0,1	2,2	33,1	28,4	34,2
		50 — 100	22,6	0,1	1,8	31,7	24,9	18,2

La faible teneur en éléments de dimensions supérieures à 50 microns est générale et remarquable (il est à noter de plus que les éléments de dimensions supérieures à 2 mm font pratiquement défaut) ; par contre le sable très fin, de dimensions comprises entre 50 et 20 microns est relativement abondant ; la teneur des formations étudiées a varié entre 27 et 49 p. 100. On sait de plus que la teneur en argile augmente dans les cas où le processus de « lehmification » est assez avancé. On voit donc que la granulométrie des lœss et des sols lœssiques donne des résultats assez caractéristiques ; elle permet, en Alsace, de les distinguer de la plupart des autres formations ; les alluvions rhénanes fines, par exemple, qui présentent parfois une certaine analogie, quant à leurs propriétés physiques ont une granulométrie assez différente : elles ont, en particulier, une teneur en sable fin (200 à 50 microns) nettement plus élevée que les lœss, et supérieure à leur propre teneur en sable très fin (50 à 20 microns). Enfin l'examen des caractéristiques granulométriques permet, dans une certaine mesure, de déceler le mélange avec des éléments étrangers.

L'étude complète paraîtra dans le Bulletin de l'Association Française pour l'étude du sol.

Les sols du Val de Saône. — Mme S. MÉRIAUX et G. GILLY (*Dijon*).

Le Val de Saône, petite région naturelle bordière du fleuve, a été étudié principalement dans le département de la Côte d'Or.

Les auteurs y ont différencié, d'après leur prospection et les résultats analytiques qu'ils ont obtenus, un certain nombre de types de sols :

1° **Sols sur alluvions modernes** recouverts de prairies, toujours situés dans la plaine, en contrebas de la première terrasse. Ils ont tous un taux d'argile au moins égal à 30 p. 100, une haute stabilité structurale, une matière organique abondante dont le rapport C/N, pouvant atteindre 22, explique l'accumulation, une réaction voisine de la neutralité, une capacité d'échange de cations élevée, un taux de saturation important en calcium et en magnésium, faible en potassium, une teneur très faible en acide phosphorique.

Dans la classification pédologique, ils sont définis comme *sols alluviaux bruns à nappe, de profil A (B) C*. L'horizon (B) structural, entre 20 et 40 cm, se traduit surtout par une structure à tendance prismatique. Il est faiblement plus argileux que la couche supérieure polyédrique ou un peu grumeleuse ; il est souvent riche en taches ferrugineuses dues à la fluctuation de la nappe.

On observe dans ces sols des variations de fertilité, explicables par la différence de niveau par rapport à la Saône qui conditionne la proximité de la nappe phréatique et la possibilité de submersion, c'est-à-dire, d'enrichissement par le limon d'inondation.

Ces variations nous ont permis d'établir la subdivision suivante qui fait apparaître une relation entre la qualité de la prairie et, d'une part son taux d'argile, d'autre part, son coefficient de perméabilité (au laboratoire). Ce coefficient est d'autant plus élevé que la proportion des cations floculants (Ca et Mg)est importante et que la proportion des cations dispersants(Na) est faible.

a) *Sols de prairies médiocres*, les plus surélevées, les plus sèches bien que les moins perméables, les moins argileuses.

b) *Sols de prairies moyennes*, de position un peu plus basse, plus perméables, un peu plus argileuses.

c) *Sols de bonnes prairies*, très submersibles, très argileuses, mais très perméables.

La vocation culturale de tous ces sols est indubitablement la prairie.

2° **Sols sur alluvions anciennes sableuses**, situés sur la première terrasse ou dans certaines parties de la plaine alluviale actuelle. Ils sont composés d'au moins 80 p. 100 de sable, d'au plus 10 p. 100 d'argile, et d'une matière organique qui se détruit rapidement en raison de l'aération du sol. Ils sont un peu acides, et leur capacité d'échange de cations est faible. A l'état naturel, ils sont pauvres en éléments fertilisants.

Ce sont des *sols bruns faiblement lessivés à sols bruns lessivés de profil* A B C (B à 80 cm environ).

Plusieurs catégories déterminées dans les sols sableux peuvent toutes s'expliquer par des considérations de coordonnées horizontales et verticales par rapport à la Saône, desquelles découlent l'éventualité d'un apport de limon de débordement et la profondeur du plan d'eau.

a) Sols sableux purs de la terrasse de 10 mètres ou de certaines parties de la plaine jamais submergées et de niveau supérieur à celui de la Saône. Ils sont très peu argileux (5 p. 100), pauvres en limon (7 p. 100), très perméables.

b) Sols sableux mélangés plus fertiles que les précédents, un peu plus riches en argile et en limon. Ils sont situés dans la plaine, à une distance du fleuve assez faible pour ne pas exclure les possibilités de submersion.

c) Terres franches à proximité des rives, mais assez surélevées pour que les riques d'inondation soient très faibles. Il semble qu'il s'agisse d'une formation d'âge intermédiaire entre les alluvions anciennes et les alluvions modernes. Leur fertilité est incontestable. Elles contiennent un peu plus de particules fines et de matière organique que les autres.

d) Sables crus maraichers de la région d'Auxonne, formés de 30 cm de sable gris-noir reposant sur un sable beige ou roux. Ils sont situés dans la plaine mais ne semblent pas submersibles. Leur couleur noirâtre n'est sans doute pas due à la quantité de matière organique car cet élément est en faible proportion, mais plutôt à sa qualité. Dans la région de Les Maillys ce type de sol présente une teinte plus claire.

e) Bons sables maraichers d'Auxonne. Ils se différencient des précédents par une profondeur plus grande de la zone noirâtre. Les sols maraîchers de ces deux catégories ont la composition granulométrique des sols sableux purs, mais ils sont très riches en éléments fertilisants car les engrais et le fumier leur sont apportés régulièrement.

Tous ces sols sableux sont voués à la culture. Leur faible capacité de rétention en eau et en éléments fertilisants guidera leur fertilisation et leur exploitation.

3° **Herbues**, localisées au sommet des buttes les plus élevées et les plus anciennes. Elles sont très battantes, imperméables, de mauvaise structure, pauvres en matière organique et en éléments fertilisants. En les améliorant, il est possible d'en faire des terres de culture moyennes ou des prairies de sécurité pour la pâture des bovins en période de crue. Ce sont des *sols lessivés à pseudogley*.

4° **Rougets**, sur le flanc des mêmes buttes. Ils sont argileux et imperméables, mais ne présentent pas de difficulté d'écoulement des eaux en raison de leur position déclive. Ce sont de bonnes terres de culture, trouvant leur place dans le sous-groupe pédologique des *sols bruns légèrement lessivés*.

Les **améliorations** à envisager pour tous ces sols du Val de Saône concernent principalement :

1° La suppression de la vaine pâture suivie de la régénération et de la fertilisation des prairies, ainsi que de leur irrigation temporaire.

2° L'enrichissement en matière organique des sols sableux, ainsi que le relèvement de leur niveau phospho-potassique.

3° Le drainage et la régénération de la structure des herbues, en même temps que l'amélioration de leur état humique et calcique, et leur fertilisation.

4° La fertilisation des rougets et l'amélioration de leur structure.

Sur le lessivage des sols de la plaine de la Saône. — S. MÉRIAUX, G. GILLY et B. LAMONTRE (*Dijon*).

Partant de leurs observations et des résultats analytiques obtenus, les auteurs expriment leur opinion concernant les sols de la Plaine de la Saône à proximité de la Côte calcaire.

D'après eux, sur un limon sableux alluvionnaire se serait déposé, par solifluxion, un limon argileux homogène qui aurait, après sa mise en place, subi un lessivage important (indice d'entraînement de l'argile : 3) en rapport avec le type de climat régional.

Cette étude a paru dans le *Bulletin de l'Association Française pour l'étude du sol.* 1957, n° 83 p. 715-727.

Corrélation entre la capacité d'échange de cations et le taux d'argile des sols alluviaux du Val de Saône. — Mme S. MÉRIAUX et M. G. GILLY (*Dijon*).

Les sols du Val de Saône sont formés en majorité à partir d'alluvions anciennes sableuses et d'alluvions modernes argileuses, toutes faiblement acides. Pour 61 échantillons de sols et sous-sols de cette région, une corrélation très étroite a été établie entre la capacité d'échange à l'acétate d'ammonium à pH 7 (y) et le pourcentage d'argile (x). Le coefficient de corrélation ($r = 0{,}96$) est hautement significatif. L'équation de régression calculée s'exprime par :

(1) $y = 0{,}59 + 0{,}71\ x$.

Le coefficient de régression a une signification élevée ($P = 0{,}001$).

Par rapport à la droite de régression, les points représentatifs se situent ainsi :

Sols : 52 p. 100 au-dessus de la droite.

Sous-sols : 60 p. 100 en-dessous de la droite.

Cette répartition met en évidence l'influence de la matière organique sur la capacité d'échange de bases des terres. Cette influence n'apparaît pas directement dans la formule précédente qui ne met en cause apparemment que l'argile. Mais comme le taux de matière organique varie dans le même sens que la teneur en argile, la relation (1) traduit en réalité l'action des deux catégories de colloïdes.

Pour des sols calcaires, R. WILLIAMS a trouvé, entre la somme des

bases (T), le pourcentage de Carbone total (C) et le taux d'argile (A), la relation suivante :

(2) $T = 0{,}57\ A + 4{,}55\ C$.

L'identité entre ces deux relations ne peut exister que pour un taux de Carbone très faible, répondant à l'équation suivante :

(3) $C = 0{,}13 + 0{,}025\ A$.

Or, dans les sols du Val de Saône, le pourcentage de Carbone est bien supérieur ; il est compris entre 0,04 A et 0,4 A.

La comparaison de la capacité d'échange expérimentale à la capacité d'échange calculée à partir de la formule de WILLIAMS montre, pour les sols de cette région, une très nette supériorité des chiffres obtenus par calcul. L'erreur par excès varie de 20 p. 100 dans les sols sableux à 60 p. 100 dans les sols argileux, montrant bien que l'équation de WILLIAMS surestime la capacité d'échange de la matière organique.

D'ailleurs, la droite de WILLIAMS, tracée pour une valeur nulle du Carbone, passe au voisinage des points représentatifs des horizons profonds peu humifères.

Quoiqu'il en soit, étant donnée la corrélation très étroite et hautement significative trouvée entre la capacité d'échange et l'argile, il est aisé pour ce terroir, de calculer la première en connaissant la deuxième.

Propriétés structurales des aubues de l'Auxois. — P. GOUNY, Mme S. MÉRIAUX et G. GILLY (*Dijon*).

Les « aubues » ou terres blanches battantes de l'Auxois ont un niveau de fertilité très bas qui semble imputable à leurs propriétés structurales défectueuses.

Caractéristiques granolumétriques.

Le sol est un limon peu argileux (16 p. 100), très riche en particules de 2 à 50 μ (70 p. 100).

En profondeur, il existe une couche de concrétions ferrugineuses appelée « mâchefer », faiblement enrichie en argile, puis un horizon d'accumulation d'argile (36 p. 100) aux environs de 0,80 m.

Caractéristiques physiques.

1° AUBUES CULTIVÉES :

a) *surface.* — La stabilité structurale est mauvaise ($I_s = 2{,}7$ et $K = 2$ cm/h). Le taux d'agrégats stables à l'eau après traitement au benzène est peu élevé en raison de la faible teneur en matière organique (2,4 p. 100).

b) *profondeur.* — La stabilité de la structure est aussi mauvaise qu'en surface.

2° AUBUES SOUS PRAIRIES :

a) *surface.* — La matière organique abondante (4,1 p. 100) a fortement amélioré la stabilité de la structure (I_s = 0,34 et K = 12 cm/h).

b) *profondeur.* — En sous-sol, l'action de la matière organique ne se fait plus sentir, et les caractéristiques structurales sont identiques à celles des aubues cultivées.

Plan d'amélioration de ces sols.

a) *Structure* : La comparaison du sol sous-prairie et des sols cultivés montre l'importance de la *matière organique*. L'idéal serait d'ensemencer en prairie temporaire les sols cultivés et de les remettre en culture après avoir fait un labour le moins profond possible pour ne pas diluer la couche améliorée. Même dans des conditions d'acidité plus poussée, la stabilité d'un sol riche en matière organique est supérieure à celle que peut avoir un sol peu acide, mais pauvre en humus.

Il serait excellent aussi de pouvoir faire profiter la culture de la bonne structure des sols sous vieille prairie. Dans ce but, il faudrait envisager de cultiver pendant quelques années les sols de prairie retournée avant leur réensemencement.

Pour les sols qui ne peuvent subir la rotation que nous préconisons, il est important de faire des apports copieux de matière organique sous une forme quelconque (fumier, engrais vert, etc). Les apports de chaux sont recommandés à condition de veiller au maintien du taux d'humus.

Il est fortement déconseillé de faire des labours profonds car la structure du sous-sol n'est pas plus stable que celle du sol.

b) *Assainissement* : Si la culture en planches ne peut être maintenue en raison de la mécanisation, l'idéal serait de drainer les parcelles.

Le drainage par charrue-taupe n'est pas conseillé car, à la profondeur à laquelle l'obus doit travailler, la terre n'est pas assez stable. Il est possible qu'un effet bienfaisant puisse être obtenu par sous-solage au niveau de la couche de mâchefer. Toutefois, les conditions sont trop limitrophes pour que ce mode de travail puisse vraiment être conseillé.

Vallée de la Seine I. Méandre de Duclair. — Ed. JOUIS, M. T. LECACHEUX et F. CAUCHY (*Rouen*).

La région a été parcourue en 1957 et des profils ont été prélevés dans les terrains successifs d'une traversée perpendiculaire aux lignes de niveau, depuis la Seine (alluvions modernes jusqu'au sommet de la terrasse polygénique des alluvions anciennes).

Un mémoire sur ce terroir paraîtra dans les Annales Agronomiques.

Étude de la Brenne. — Mme PÉRIGAUD (*Châteauroux*).

Dans le cadre de l'aménagement des régions sous-développées la Brenne pose le problème de la rentabilité de son drainage. Une étude préalable a tout investissement généralisé a été entreprise par la Station de Châteauroux en collaboration avec le Génie Rural.

Les analyses ont jusqu'à présent porté sur la composition granulométrique des différents horizons.

Une étude générale de la Brenne paraîtra prochainement dans ces Annales.

Étude des sols des communes de Locarn et de Duault (C. du N.). — M. COPPENET et Mme E. SPAGNOL (*Quimper*).

Ces deux communes contiguës et situées dans le sud-ouest du département reposent géologiquement sur les schistes carbonifères de Châteaulin.

Aperçu sur les sols de la Guadeloupe. — M. ROBELIN et F. COLMET-DAAGE (*Clermont-Ferrand*).

Les auteurs font une description et caractérisation sommaires des différents types de sol de cette île ; le type et le degré d'évolution sont en très haute corrélation avec la pluviométrie.

$p < 1\,500$ mm sols d'argile noire tropicale à Montmorillonite,

$1\,500 < p < 3\,000$ mm sols ferrugineux tropicaux, légère tendance à la latéritisation,

$p > 3\,000$ mm sols latéritiques. Evolution très rapide.

Ce travail a paru dans le bulletin de l'Association Française pour l'Etude du sol. 1957 nº 86 p. 782.

Le Tursan. — J. DELMAS et A. DARTIGUES (*Pont-de-la-Maye*).

Le Tursan est situé à l'extrême sud-est du département, il est bordé au nord par l'Adour et à l'ouest s'étend jusqu'au Luz.

L'étude agrologique a consisté en relevés et études de profils, à la fois selon des lignes perpendiculaires ou parallèles aux vallées et sur certaines communes types. L'étude détaillé de ce terroir sera publié ultérieurement.

Les grands types génétiques de sols du Languedoc. — E. SERVAT (*Montpellier*).

LES SOLS ROUGES

Ce terme doit progressivement disparaître au fur et à mesure qu'une description méthodique sera faite.

Les formations « rouges » du Languedoc appartiennent aux diverses époques géologiques. Sont retenues plus particulièrement les formations du pliocène et du quaternaire. En général l'évolution pédologique de ces formations est actuellement réduite. Mais il existe des exceptions.

Dans le bassin tertiaire de Saint-Martin de Londres, le Lutétien présente un niveau de calcaires très riches en silex. Le climat local est un peu plus humide que la moyenne. Le produit d'altération de ces niveaux est une argile rouge riche en silex.

Le sol nu est très argileux, rouge, sans horizons différenciés, décalcifié. Le pH est voisin de 7.

Sous taillis de chênes blancs, un sol humifère s'installe. La teneur en matières organiques de A_1 est 6 p. 100, le rapport C/N voisin de 12, le pH 6,5.

Sous futaie de chênes blancs, une végétation silicicole s'est installée en sous-bois. On observe un sol brun forestier lessivé. La teneur en matières organiques de A, est 10 p. 100, le pH s'abaisse à 5,5 le rapport C/N s'élève à 17,5 tandis qu'on observe un lessivage de fer et d'argile. Sur les talus le lessivage oblique du fer est très spectaculaire.

Sur les calcaires compacts l'évolution des argiles rouges est différente et il semble que l'on puisse attribuer cela à la sécheresse plus grande du pedoclimat.

Les Rendzines.

Tout à côté, sur les calcaires marneux du Lutétien, on peut suivre l'évolution des sols du type rendzine, allant des rendzines blanches, aux rendzines brunes, puis à l'accumulation dans les bas fonds d'une argile noire, compacte à structure prismatique. De plus, il existe des différences entre les argiles rouges et les argiles noires soumises aux phénomènes d'hydromorphie.

Les Marnes.

Sur ces formations les sols sont peu différents des roches mères.

Les Loess.

Les loess présentent dans leur composition granulométrique, une grande uniformité : pauvreté en sables grossiers, richesse en sable fin (75 p. 100 en moyenne) faible teneur en argile, teneur en calcaire voisine de 35 p. 100.

Le Loehm rubéfié, décalcifié, légèrement enrichi en argile renferme tous les minéraux lourds du Loess. Grenat, épidote, toumaline, zircon, sillimanite, staurotide, etc. Actuellement, le loehm est toujours séparé du loess, et sa genèse paraît ancienne.

Ces quelques exemples paraissent illustrer d'une part, la lenteur des phénomènes pédologiques en même temps que la possibilité d'une évolution accélérée dans certaines conditions.

Du point de vue génétique, l'étude des sols du Languedoc doit être précisée en détail.

Étude des sols du département des Landes. — J. DELMAS et A. DARTIGUES (*Pont-de-la-Maye*).

La détermination des régions agrologiques des Landes a permis d'orienter les recherches actuelles sur les types de sols et les caractères de ceux-ci permettant d'en préciser l'évolution et les possibilités culturales.

L'étude se poursuit dans un but de Cartographie et sera publiée ultérieurement.

V. — PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE

Recherches sur l'absorption des ions alcalins par les racines. — Mlle M. SCHEALTIEL (*Versailles*).

L'auteur s'est proposé d'étudier l'antagonisme du sodium et du potassium chez des espèces halophiles, halophobes, et intermédiaires, en utilisant la technique des racines exisées de E. EPSTEIN. Celle-ci consiste à séparer les racines de plantules en germination, et à les plonger dans une solution saline, ou dans plusieurs solutions successives, agitées par barbotage continu ; on étudie l'absorption ou l'excrétion de substances minérales par les racines en fonction du temps, de la concentration, de la température et de l'aération notamment.

L'auteur constate que les racines excisées du maïs, plante halophobe, absorbent bien le sodium ; en conséquence, le fait connu que les parties supérieures du maïs contiennent beaucoup moins de sodium que de potassium ne peut être attribuée à une sélection au niveau des racines. Par ailleurs, l'auteur a observé que chez le maïs, l'antagonisme de Na contre K est plus faible que l'antagonisme de K contre Na.

Mais il est vite apparu qu'il était nécessaire de préciser d'abord la technique expérimentale, et les recherches se sont provisoirement écartées de leur but initial.

Des racines de plantules d'orge âgées de 6 jours ont été alimentées par des solutions de chlorures, de rubidium, de potassium ou de sodium radioactifs, de concentrations comprises entre 0,01 et 50 milliéquivalents par litre, pendant des temps allant de 1/2 heure à 7 ou 8 heures.

a) Marche de l'absorption au cours du temps.

A 25° ou 30°, en présence d'air, la vitesse de l'absorption (pente de la tangente à la courbe) diminue au cours du temps ; on observe une diminution rapide de cette vitesse après 2 heures environ surtout pour de faibles concentrations. En conséquence dans l'étude quantitative de l'action de différentes causes sur l'alimentation de racines excisées, on ne saurait envisager l'établissement de formules où figurerait une vitesse d'absorption définie, approximativement constante pendant un intervalle de temps de 3 heures, comme le font plusieurs chercheurs.

b) **Influence de la concentration.**

D'après ce qui précède, la loi de la vitesse des réactions enzymatiques en fonction de la concentration n'a pu être confirmée. Cependant, si l'on considère la vitesse d'absorption à un même instant, choisi dans un intervalle de temps où la vitesse ne varie pas trop, cette loi est à peu près vérifiée pour de fortes concentrations supérieures à 5 milliéquivalents par litre. En dessous, les quantités absorbées sont beaucoup plus grandes que ne le prévoit la loi. Ces résultats sont valables surtout au cours des 2 premières heures.

c) **Rejet par les racines d'éléments marqués antérieurement absorbés.**

L'étude de ce phénomène, qui serait particulièrement précieuse pour la connaissance des échanges entre racines et milieu et des antagonismes, présente de grandes difficultés à cause de l'imprécision des lavages : il ne semble pas possible de définir expérimentalement la limite entre la fin du rinçage de la solution antérieure, et le début de la sortie d'ions présents à l'intérieur des racines.

En aucun cas, il n'a pu être confirmé que le rejet par les racines d'un ion alcalin antérieurement absorbé (Rb radioactif) tende vers une limite définie permettant de séparer nettement la fraction retenue sous forme labile (absorption passive) de la fraction solidement retenue (absorption active).

Cependant des racines ayant absorbé Rb radioactif, rincées rapidement mais soigneusement à l'eau, puis plongées dans de l'eau, à la température de 30° avec barbotage d'air, cèdent au milieu pendant la première demi-heure une quantité notable de Rb qui est ensuite réabsorbé par les racines ; c'est là la preuve qu'un mécanisme actif d'alimentation se poursuit aux dépens de Rb diffusible antérieurement présent dans les racines. Il est intéressant de noter que les racines excisées se comportent à cet égard comme des plantules entières.

En présence de Rb Cl, l'échange isotopique de Rb entre racines et milieu est rapide pendant la première 1/2 heure environ, puis se poursuit lentement ensuite.

En présence de $CaCl_2$, Rb antérieurement absorbé se comporte sensiblement comme en présence d'eau, ce qui prouve que Ca peut difficilement chasser Rb des sites qu'il a occupés.

En opérant à 0° en présence d'eau, l'auteur a constaté que l'espace libre apparent des racines — c'est-à-dire le volume de solution alimentaire initiale contenant une quantité d'ions égale à celle sortie des racines, et exprimé en p. 100 du volume total des racines — augmente quand la concentration initiale diminue (pour les premières heures), par exemple.

Concentration initiale	Espace libre apparent
0,1 milléq. par litre	2 000 pour cent
40 « « «	35 « «

Pour rendre compte de ces observations, on peut admettre que l'absorption passive, tout comme l'absorption active, est proportionnellement d'autant plus grande que la concentration est plus petite, ce qui confirme les résultats obtenus par mesure directe de l'absorption.

L'espace libre apparent augmente avec la température à laquelle a été réalisée l'absorption, c'est-à-dire que la quantité d'ions rejetée par les racines — toujours à 0° dans l'eau — et d'autant plus forte que la température a été plus élevée au cours de la phase alimentaire antérieure (surtout pour les faibles concentrations).

La méthode des racines excisées, malgré ses inconvénients, auxquels on remédiera sans doute peu à peu, peut rendre de grands services dans l'étude des mécanismes physiologiques de l'alimentation des racines, ainsi que dans des recherches sur les éventuels effets de contact entre les racines et les colloïdes du sol, puisque la méthode est applicable aussi bien à des suspensions colloïdales qu'à des solutions.

Nutrition azotée et intensité respiratoire des racines. — Mme D. BLANC (*Antibes*).

L'auteur a mesuré, sur différentes espèces végétales, l'influence de la nutrition azotée sur l'intensité respiratoire des racines. Les déterminations ont été effectuées sur un échantillon moyen des extrémités des racines de Ray Grass, Dactyle, Fléole et Maïs.

Pendant la première heure qui suit le prélèvement, on observe une relation directe entre l'intensité respiratoire des racines et le niveau de l'alimentation antérieure en azote, que les résultats soient exprimés en µl d'O_2 absorbés par mg de poids sec ou par mg d'azote. Pour des doses excessives en azote, le $Q_{02}(N)$ diminue sensiblement.

Quand on suit l'évolution de l'intensité respiratoire, en fonction du temps, on observe que pour les racines de plantes carencées en azote, l'intensité respiratoire se maintient à un niveau bas, mais constant pendant les 4 heures d'expérience. Quand l'alimentation en azote a été largement assurée, l'intensité respiratoire, élevée la première heure, décroît rapidement pendant les heures suivantes.

Le dosage des glucides dans les racines au moment du prélèvement apporte une explication à cette différence de comportement dans le temps : la carence en azote se traduit en effet par une accumulation de sucres, dans les racines, alors que dans les plantes bien alimentées en azote, les sucres sont utilisés au fur et à mesure de leur apport à partir des organes

aériens. Il en résulte que l'intensité respiratoire élevée chez les plantes normalement fournies en azote, ne peut être soutenue par suite de l'épuisement rapide des faibles réserves présentes dans les racines au moment du prélèvement. Chez les plantes carencées en azote, l'intensité respiratoire est faible, mais peut être soutenue pendant un temps plus long, par suite de la teneur élevée en glucides des échantillons au départ.

Incidence du taux d'azote de la solution nutritive sur l'équilibre parties aériennes-racines du végétal cultivé sur sable. — Mme BLANC (*Antibes*).

Ce travail qui avait été entrepris en 1956 sur une culture de Dactyle, a fait l'objet d'une série d'essais sur Dactyle et sur Maïs. Une gamme de concentrations en azote plus resserrée et l'introduction de la forme ammoniacale dans certains des traitements, ont permis d'étudier l'influence de la variation de la teneur en azote nitrique du milieu de culture sur le développement du végétal à l'étude et de comparer l'action sur l'équilibre parties aériennes-racines, des formes ammoniacale et nitrique. Tous ces essais ont été conduits sur sable.

RÉSULTATS. — Le détail du dispositif expérimental et des résultats obtenus ont fait l'objet d'une publication dans les Annales agronomiques. Les conclusions générales à tirer de cette série d'essais sont les suivantes :

1° Une augmentation de la concentration en azote nitrique de la solution nutritive détermine un accroissement de la production des parties aériennes jusqu'à un taux optimum qui est de l'ordre de 10 m. e. d'azote par litre de solution nutritive. La production de racines se maintient constante dans le cas du maïs. Pour le dactyle on note une diminution marquée du poids de racines à la plus forte dose d'azote nitrique. Il en résulte que, pour les deux cultures, une augmentation du taux d'azote nitrique se traduit par une diminution du pourcentage de racines dans l'ensemble de la production.

Il convient de signaler une réponse beaucoup plus importante du dactyle aux variations de la teneur en nitrates du milieu : à partir de 3 m. e. d'azote par litre, le maïs ne répond que faiblement à une augmentation du taux d'azote, alors que la production du dactyle augmente très fortement à chaque dose d'azote nitrique supplémentaire, jusqu'à 10 m. e. par litre.

La diminution de production entre les traitements à 10 et 15 milliéquivalents par litre, est également plus marquée pour le dactyle que pour le maïs.

2° La substitution d'une partie de l'azote nitrique par de l'azote ammoniacal donne des résultats comparables sur les rendements totaux des deux espèces : dans la mesure où la concentration en azote nitrique est suffisante (dans le cas de nos essais, la dose minimum est de 3 m. e.

d'azote nitrique par litre), une faible proportion d'azote ammoniacal augmente la production totale de matière fraîche. En milieu exclusivement ammoniacal, le développement de l'ensemble de la plante est fortement inhibé.

Si l'on considère le rapport parties aériennes — racines, le comporte ment des deux espèces est différent : alors que chez le dactyle la substitution de l'azote ammoniacal à l'azote nitrique détermine une augmentation de ce rapport, c'est l'inverse qui se produit dans le cas du maïs. En effet, chez le dactyle, la présence d'azote ammoniacal dans le milieu, ralentit sensiblement le développement radiculaire ; chez le maïs, c'est le développement des parties aériennes qui est en premier lieu affecté. Nous pensons que cette divergence de comportement est la conséquence d'une assimilation différente des ions NH_4 par les deux espèces à l'étude.

Influence des colloïdes humiques sur différentes phases de l'absorption des éléments minéraux par les plantes. — R. BLANCHET (*Versailles*).

L'addition de colloïdes humiques à une solution nutritive diluée accélère considérablement l'adsorption des ions PO_4 et K^+ à la surface des racines de plants de blé carencés en ces éléments. L'humus augmente également la vitesse de l'absorption proprement dite (*CR Ac. Sc.*, 1957, 244, p. 2 418).

Observations sur la nutrition phosphatée de la vigne et du prunier en solution nutritive. — J. DELMAS et C. MARENAUD (*Pont-de-la-Maye*).

Parallèlement aux essais sur pêcher entrepris depuis 3 ans en serre en solution nutritive, des essais ont été effectués sur vigne et prunier.

Les observations en fin de végétation ont donné en 1957 les résultats suivants :

Dose de P. à chaque apport	Prunier		Vigne	
	Hauteur du scion	Diamètre du scion	Hauteur du scion	Nombre de grappes
1 ppm.	280 cm.	9 mm²	280	0
5 ppm.	*400*	12	290	1
20 ppm.	*400*	14	*392*	4
50 ppm.	350	13	350	1

Les besoins en P. semblent être du même ordre pour le prunier que pour le pêcher, avec effet dépressif net aux doses excessives.

Par contre, la vigne se développe davantage à une dose plus élevée (20 ppm dans la solution), mais on constate encore un effet dépressif à la dose maximale.

Étude sur le rôle du phosphore dans la nutrition des Pêchers en solution nutritive. — J. DELMAS, J. BATS et C. MARENAUD (*Pont-de-la-Maye*).

Suite de l'étude entreprise en 1955 et reprise en 1956 selon un nouveau protocole (voir *CR Trx Ann. Agro.* p. 713).

Les apports ont été effectués avec renouvellement de la solution tous les mois.

Les doses de P ont été comme en 1956 de 1-5-20-50 ppm à chaque apport.

Une partie des arbres a été laissée en place (Série A), une autre (Série B) a été arrachée et replantée en caisses de végétation dans une terre de composition suivante :

Argile	15,2 %	PH : 6,6	
Limon	9,4	Extrait acétoacétique :	
Sable 20.50	19,8	P_2O_5 : 0,011 en mg/Kg terre	
Sable 50,200	12,1	K_2O : 0,078	«
Sable grossier	42,6		
Calcaire	traces		
Matière organique	0,9		

et ont été nourris différemment par arrosage :

Pour une dose en 1956	ils ont reçu en 1957 P en g.
—	—
de 1 ppm par apport	0
5 « « «	100
20 « « «	400

Les analyses de feuilles ont conduit aux résultats indiqués dans les deux tableaux suivants :

Variations des taux dans les feuilles (série A)

	Au cours du temps	Selon la dose de P
N	Abaissement graduel jusqu'à août.	Élévation avec l'apport de P.
P	Abaissement jusqu'à fin juin puis remontée.	Augmentation très forte du taux en fonction de l'apport — le taux observé à la dose 50 ppm atteint en août 3,5 fois celui observé pour la dose 1 ppm.
K	Abaissement de mai à août.	Taux inférieur avec la dose de P la plus faible.
Mg	Élévation du taux.	Élévation du taux avec l'apport de P-croissant.
Fe	Évolution non significative.	Évolution non significative.
Mn	Tendance à l'accumulation avec le temps aux faibles doses de P.	Peu caractéristique malgré app. carences avec les fortes doses de P.

Variations des taux observées dans les feuilles (série B)

	Au cours du temps	Selon la dose de P en 1956 et en 1957
N	Abaissement graduel jusqu'en août.	Non significative.
P	Abaissement jusqu'à fin juin puis remontée.	Augmentation très marquée en fonction des apports.
K	Taux sensiblement constant.	Augmentation très nette en fonction des apports.
Mg	Élévation du taux.	Taux maximum avec 100 g de P par an. Baisse avec 400 g de P.
Fe	Non significative.	Non significative.
Mn	Augmentation jusqu'en fin de végétation.	Effet dépressif avec 400 g de P.

CONCLUSIONS. — Les mêmes conclusions qu'en 1956 peuvent être reprises en 1957.

La comparaison des tableaux d'observations et de résultats montre cependant que la carence du Mn observée avec suralimentation au P est moins accentuée cette année.

Les arbres transplantés et que l'on a continué à nourrir différemment mais sur terre en 1957, ont présenté les mêmes différences végétatives et analytiques que ceux restant en solution nutritive, les différences étant souvent, cependant, moins accentuées.

La carence en P se marque manifestement sur tous les aspects de la croissance et du développement des pêchers.

La suralimentation produit des troubles indubitables dont l'importance devra être précisée.

Sur le silicium et le phosphore du blé. — Mlle L. DELMAS (*Grignon*).

L'étude simultanée de SiO_2 et P_2O_5 est effectuée dans différents organes de plants de blé cultivés sur les parcelles du champ d'expérience de Grignon. En particulier, les dosages effectués sur les extraits acido-solubles des grains permettent de mettre en évidence l'évolution semblable de la « silice acido-soluble » et du P_2O_5 minéral au cours de la formation du grain.

Action du jus de tomates sur la culture in vitro de tissus végétaux. — Mme G. DUPLESSY-GRAILLOT (*Grignon*).

Le jus brut de tomates mûres lyophilisé est essayé sur différents tissus végétaux. Les essais portent sur le jus total et sur plusieurs fractions obtenues par différents solvants. Ces fractions sont également étudiées spectrographiquement.

VI. — AMENDEMENTS

I. — AMENDEMENTS CALCAIRES

Le problème du chaulage à la lumière de la science agronomique moderne. — M. COPPENET (*Quimper*).

L'auteur insiste particulièrement sur les points suivants :

Etat du complexe absorbant des sols suivant leur pH ;

étude des mauvaises conditions de croissance en sol acide ;

influence du pH sur l'assimilabilité des éléments majeurs et des oligo-éléments (graphique) ;

détermination de la nécessité de chauler un sol donné par l'analyse chimique ;

chaulage de fond et chaulage d'entretien ;

conséquences néfastes de chaulages exagérés ;

la question du pH optimum.

Cet article de vulgarisation a paru dans le Bulletin de l'Association française pour l'étude du sol en 1957, n° 93, p. 1 020.

Modifications de la chaux et de la magnésie échangeable sous l'action des laitiers de hauts fourneaux et des calcaires marins. — M. COPPENET et Mme HÉLIAS (*Quimper*).

En 1956, on a effectué, dans le Finistère, des essais sur la valeur amendante des laitiers de hauts fourneaux ; les résultats ont été donnés dans les Annales Agronomiques de 1957 (travaux effectués en 1956) p. 673.

Ces expériences poursuivies en 1957 ont permis de suivre de plus près l'élévation du pH, de la chaux échangeable et de la magnésie échangeable, en comparaison avec les amendements marins, trez et maërl.

Les caractéristiques granulométriques de ces amendements calcaires sont les suivantes :

	Refus au tamis 18	Refus au tamis 90	Passant au tamis 90
	—	—	—
Laitier expansé	60 %	38 %	2 %
Laitier granulé	49 %	48 %	3 %
Laitier concassé	59 %	32 %	9 %

	Refus au tamis 18	Refus au tamis 30	Refus au tamis 90	Passant au tamis 90
	—	—	—	—
Trez (sable coquillier)	4,3 %	55 %	39,4 %	1,3 %
Maërl (squelette calcaire du Lithothamnion	98,8 %			

Il s'agit donc de particules très grossières et seul le laitier concassé présente une proportion notable d'éléments passant au tamis 90. La teneur en CaO des laitiers est de 45 p. 100 sous forme de silicate ; elle est de 45,5 p. 100 pour le trez et de 46 p. 100 pour le maërl sous forme de carbonate. La teneur en MgO des laitiers est 3,9 p. 100, celle du trez 1,5 p. 100 et celle du maërl 4,6 p. 100. Les laitiers ne contiennent pas de chaux libre.

1er essai.

En plein champ à Langolen (Finistère), terre schisteuse de pH 5,3.

dose 1 : équivalent de 10 tonnes/ha CO^3Ca ;

dose 2 : équivalent de 20 tonnes/ha CO^3Ca.

Les analyses ci-dessous ont porté sur les échantillons de sol prélevés 1 an et 2 ans après l'enfouissement des amendements dans la même parcelle de 10 m sur 10 m (12 sondages). On aura, dans ces conditions, un aperçu des variations observées d'une année à l'autre pour la même parcelle :

	Après 1 an		Après 2 ans	
	pH	CaO échangeable	pH	CaO échangeable
Témoin 1	5,35	1,48 ‰	5,35	1,61 ‰
Témoin 2	5,3	1,74	5,2	1,40
Laitier granulé dose 1	5,55	2,07	5,4	1,70
Laitier granulé dose 2	5,5	1,68	5,4	1,86
Maërl dose 1	5,6	2,08	5,6	2,06
Maërl dose 2	6,25	2,65	6,15	2,96
Laitier expansé dose 1	5,9	2,20	5,7	2,33
Laitier expansé dose 2	5,8	2,49	5,75	2,42
Laitier concassé dose 1	5,9	2,29	5,95	2,74
Laitier concassé dose 2	6,0	3,96	5,7	2,71
Trez dose 1	6,3	3,45	6,4	3,75
Trez dose 2	6,5	3,99	6,5	4,15

La relation entre le pH et la chaux échangeable est donc assez bonne. Les résultats du dosage de la magnésie échangeable sont trop variables pour qu'on puisse en tirer des conclusions quant aux différences entre amendements. Malgré tout, on constate un enrichissement général puisque de 0,10 p. 1 000 dans les parcelles témoins, la teneur passe aux environs de 0,15 p. 1 000 dans toutes les parcelles amendées (0,14 à 0,17 p. 1 000).

2e essai.

En pots de végétation avec une terre de lande de région granulitique. Plonéis (Finistère).

Dose 1-30 g CO^3Ca par pot de 10 kg de terre soit environ 10 tonnes CO^3Ca/ha.

Dose 2. — 60 g CO^3Ca par pot de 10 kg de terre soit environ 20 tonnes CO^3Ca/ha.

Les pots ont été ensemencés en 1957 par de l'orge (variété Rika). Voici les résultats obtenus après deux ans :

	Dose 1			Dose 2				
	pH	CaO échangeable	MgO échangeable	pH	CaO échangeable	MgO échangeable	Poids de M. S. récoltée par pot	
							Paille	Grain
Témoin	4,5	0,62 °/₀₀	0,077 °/₀₀	4,5	0,62 °/₀₀	0,077 °/₀₀	0 g	0 g
Laitier granulé	5,2	1,09	0,126	5,6	1,40	0,138	7	8,5
Maërl	5,1	0,89	0,081	5,5	1,39	0,138	7	
Laitier expansé	5,2	1,12	0,089	5,55	1,64	0,146	10	13,2
Laitier concassé	5,1	1,28	0,129	5,5	1,80	0,134	10	15,6
Trez	5,6	2,18	0,093	6,25	3,23	0,153	12	20,2

Le classement s'établit donc de la même façon que dans le cas de l'essai au champ. La teneur en chaux échangeable est environ deux fois plus forte avec le trez qu'avec les autres produits. L'accroissement de teneur en magnésie échangeable est manifeste pour tous les amendements.

Les poids d'orge récoltés sont bien en rapport avec les teneurs en chaux échangeable.

Les pH ont augmenté de 2 à 3 dixièmes d'unité entre la 1re et la 2e année, contrairement à ce qui s'est passé dans l'essai de plein champ où la terre était nettement moins acide à l'origine.

3e essai.

Comparaison chaux éteinte et maërl à dose égale de CO^3Ca (13 t/ha) en cases lysimétriques :

	Après 1 an		Après 2 ans		Après 3 ans	
	pH	CaO échangeable	pH	CaO échangeable	pH	CaO échangeable
Témoin	4,85	0,52 °/₀₀	4,75	0,50 °/₀₀	4,9	0,55 °/₀₀
Maërl	5,45	1,45	5,4	1,57	5,8	1,98
Chaux	6,	2,14	6,1	3,33	6,0	2,88

Au cours de la 3e année, les cases à maërl et à chaux ont reçu l'équivalent de 1 t/ha de scories, ce qui peut expliquer partiellement l'élévation de pH et de chaux échangeable observée dans le cas du maërl entre la 2e et la 3e année.

Conclusions :

1° Les laitiers de hauts fourneaux des types « Expansé » et surtout « Concassé » élèvent la teneur en chaux échangeable des sols acides un

peu plus fortement que le maërl lorsqu'ils sont employés à dose égale de CaO. Par contre, le maërl a une action comparable à celle du laitier de type « Granulé » dans l'essai en pot mais supérieure dans l'essai de plein champ.

2° Les différentes formes de laitiers ainsi que le maërl peuvent être utilisés en Bretagne dans les sols acides (pH 5 à 5,3) à la dose calculée par le besoin en chaux (10 à 12 tonnes CO^3Ca/ha) sans élever le pH au-dessus de 6. La teneur des sols en CaO échangeable peut passer dans ces conditions de 1,5 à 2 p. 1 000.

3° Le trez a une action bien supérieure et le pH dépasse 6 pour la dose indiquée ci-dessus. Au point de vue pratique, il y a donc intérêt si l'on utilise du trez, ou à plus forte raison de la chaux, à fractionner en deux apports. La teneur du sol en CaO échangeable peut s'élever sous l'influence du trez de 1,5 à 3,5 p. 1 000.

4° La teneur en chaux échangeable atteint pratiquement son maximum 1 an après l'enfouissement des amendements ci-dessus et l'on constate très peu de variations entre la première et la deuxième année.

5° Les laitiers élèvent la teneur en magnésie échangeable dans des proportions identiques à l'élévation obtenue par les calcaires marins.

6° Le poids des récoltes obtenues en pot a été plus élevé la première année avec le laitier concassé et la seconde année avec le trez. Le trez a élevé plus fortement la chaux échangeable mais au cours des premiers mois, la fraction très fine du laitier concassé (tamis 90) a eu une action immédiate plus rapide.

II. — AMENDEMENTS HUMIQUES

Fumure organique et fumure azotée de la betterave à sucre. — G. BARBIER (*Versailles*).

L'expérience au champ poursuivie depuis 1949 dans la pièce des Grands Clozeaux du domaine de Versailles (voir rapports antérieurs) portait en 1957 des betteraves à sucre (Cérès, type « normales ») venant après blé.

Le nitrate d'ammonium a été appliqué en totalité avant le semis.

La paille fragmentée, a été incorporée chaque année avant l'hiver à raison de 50 qx au début, puis de 80 qx à partir de 1953. La dernière application de fumier remonte à 1952 (en 1957, les parcelles paille et fumier avaient reçu en tout des quantités équivalentes de matière organique humifiable). Le foin de luzerne, employé comme modèle d'engrais vert, a été appliqué aux mêmes doses que la paille.

RENDEMENTS EN RACINES. — Comme pour les 4 betteraves antérieures (assolement bisannuel), la paille a augmenté significativement le

rendement en poids, (P = 0,05 ; 4 répétitions) au moins en présence de doses suffisamment élevées d'azote minéral; comme en 1955, en présence de foin de luzerne, qui apporte au moins 200 kg d'azote par ha, le rendement est significativement plus élevé qu'en présence de paille avec 160 kg d'azote. Ce résultat confirme à nouveau l'action favorable des engrais verts constatée dans les expériences de TIRLEMONT.

Azote du nitrate d'ammonium, kg/ha	0	50	80	120	160
Sans fumure organique :					
Racines, t/ha	24,7		40	44,5	46,5
Sucre %	17,18		17,06	17,42	17,23
Racines/feuilles	3,95		3,25	2,26	1,8
Avec paille :					
Racines, t/ha			48,2	49,0	52,2
Sucre %			18,06	17,56	16,94
Racines/feuilles			2,8	2,35	1,73
Avec fumier ancien :					
Racines, t/ha	24,8		43		
Sucre %	17,68		17,44		
Racines/feuilles	4,1		2,74		
Foin de luzerne					
Racines, t/ha	57,5	56			
Sucre %	17,92	16,65			
Racines/feuilles	2,27	1,79			

SUCRE. p. 100. — Aucune des différences observées n'est significative (P = 0,05), bien que 10 dosages aient été effectués sur chaque parcelle, soit 40 par traitement.

L'examen des diagrammes par points ne révèle pas de corrélation entre la teneur en sucre et le rendement, ni entre la teneur en sucre et le rapport racines/feuilles, pour l'ensemble de l'essai.

Quoiqu'il en soit, le rendement le plus élevé (foin de luzerne) coïncide avec un taux de sucre particulièrement élevé. Il n'apparaît pas que l'action favorable de la paille sur le rendement ait été obtenue au détriment de la teneur en sucre. Des rendements élevés ne sont donc pas incompatibles avec une bonne teneur en sucre (voir également paille + 80 kg N).

RAPPORT RACINES/FEUILLES. — Une corrélation inverse entre le rendement en racines et le rapport racines/feuilles apparaît sur leur diagramme, bien que les points se dispersent aux rendements élevés.

INFLUENCE DES FUMURES ORGANIQUES SUR L'AZOTE DU SOL. — L'application répétée de paille a fortement enrichi le sol et le sous-sol en azote minéral (prélèvement effectué en juin 1957, pour les mêmes doses d'engrais azotés minéraux appliqués). Dans le sous-sol (25-40 cm) c'est uniquement l'azote ammoniacal qui a été augmenté. Or, en l'absence de paille, le sous-sol ne s'est pas enrichi en azote ammoniacal par application de nitrate d'ammonium. La littérature signale que des substances organiques riches en N (ammonifiable) peuvent migrer dans le sous-sol. Les parcelles ayant reçu du foin de luzerne révèlent aussi un fort enrichissement du sous-sol — comme du sol — en azote ammoniacal.

CONCLUSION. — Il est connu qu'une première application de paille diminue en général l'azote disponible pour les plantes supérieures, du fait de la concurrence microbienne. Mais, à la longue, la minéralisation des résidus humiques azotés accumulés doit compenser l'immobilisation d'azote par la paille fraichement appliquée. En fait dans ces expériences, l'application de paille a eu pour conséquence un gain substantiel d'azote disponible, corrélatif d'un gain d'humus. Trois causes ont pu intervenir : apport non négligeable d'azote par la paille (20 kg par an); réduction des pertes par drainage au cours de l'hiver en présence de paille ; éventuellement action favorable sur les organismes fixateurs d'azote atmosphérique.

L'influence favorable des fumures organiques peut donc être liée à une action sur la nutrition azotée de la betterave, par modification de la distribution de l'azote dans le temps où selon la profondeur. Mais jusqu'à présent, une telle action n'a pu être obtenue par des engrais minéraux sans fumure organique.

Essais en vases de végétation sur l'influence des substances humiques sur la nutrition minérale des végétaux. — R. CHAMINADE (*Versailles*).

Ces essais ont été réalisés en petits vases de végétation en polyéthylène de 10 × 10 × 13 cm. Ils ont comporté des expériences de cultures en solutions nutritives sur sable et des essais sur sols.

Le point étudié a été l'influence des substances humiques sur l'efficacité de l'azote minéral. Le dispositif expérimental comportait la comparaison de milieux de culture de composition minérale constante pour tous les éléments, sauf pour l'azote et les courbes de rendement ont été établies en fonction de la teneur en azote du milieu de culture.

La plante d'expérience a été un Ray-Grass. Huit coupes successives ont été faites dans les cultures sur sable et trois coupes dans les cultures sur sol.

Les résultats obtenus mettent en évidence les faits suivants :

L'humus, à une concentration de 2,5 mg/litre en solution nutritive ou à la dose de 0,3 p. 100 de sol, a augmenté l'efficacité de l'azote à l'égard du végétal. Cette augmentation d'efficacité est en relation avec une absorption accrue d'azote par la plante pour une teneur déterminée du milieu de culture en cet élément.

D'autre part la présence d'humus a permis à la plante d'utiliser l'azote à des concentrations qui, en l'absence d'humus, ne provoquaient plus d'augmentation de rendement ou atteignaient même la dose toxique.

Enfouissement direct de matières organiques diverses. — P. BOISCHOT et Mme G. SIMON (*Versailles*).

Une expérience de longue durée (6 années) a été effectuée, en pots, sur la décomposition de la matière organique dans un sol de limon. Les auteurs ont expérimenté le glucose, l'amidon, la paille de blé et celle de colza, le foin, la sciure de bois, le fumier, la tourbe, la cellulose et la lignine.

Les résultats obtenus qui seront publiés ultérieurement montrent des différences considérables dans la vitesse de décomposition, l'effet dépressif et les arrière-actions de toutes ces matières organiques

Enfouissement direct des pailles. — Mme G. SIMON (*Versailles*).

L'auteur a terminé les recherches sur cette question en étudiant les conditions bactériologiqes de la décomposition des pailles dans le sol.

Ce travail qui fera l'objet d'une thèse de doctorat paraîtra en 1958 dans ces annales.

De l'emploi du superphosphate sur fumier. — G. LEFÈVRE (*Amiens*).

Cette étude parue dans le bulletin technique d'information (1957, p. 353) expose dans une première partie les raisons de la variabilité de richesse des fumiers, et en particulier l'influence de la stabulation libre. Cette dernière technique, entraîne généralement une pauvreté relative des fumiers en acide phosphorique, encore plus marquée que dans les fumiers ordinaires. Pour y remédier l'emploi du superphosphate est conseillé en raison des autres avantages que cet apport présente. Des analyses confirment en effet l'enrichissement des fumiers en azote (conservé) acide phosphorique (apporté) et même en potasse (non perdue). L'effet sur la vitesse de décomposition, quoique sensible, n'est pas très marquée car ces essais portaient sur un apport vraisemblablement insuffisant de superphosphate (1 kg par bête et par jour). Il semble que la dose optimum rejoindrait celle utilisée dans les bergeries, soit 200 g par m² et par jour.

Étude expérimentale de l'action d'un calcaire broyé sur un sol du Morvan. — Mme MÉRIAUX (*Dijon*).

L'auteur relate les résultats obtenus par une expérimentation de trois années, au champ et au laboratoire, sur l'action d'un calcaire finement broyé en sol granitique (pH 5,3) sous climat humide (P = 830 mm). La dose de 3 t/ha a une action modérée et brève. Par contre, les doses de 6 et 9 t/ha ont un effet plus durable, mais trop énergique.

Cette étude a fait l'objet d'une note à l'Académie d'Agriculture (1957, p. 619-628).

Résultats de quelques analyses d'engrais verts. — G. LEFÈVRE et G. HIROUX (*Amiens*).

La station d'Amiens a recueilli pour analyse 58 échantillons d'engrais verts. Dans certaines parcelles les prélèvements et les mesures ayant été faits avec trois répétitions, nous disposons en fait de 27 groupes d'échantillons représentant 10 espèces d'engrais verts. Les répétitions vérifient que l'évaluation des rendements a été convenable et que les chiffres d'analyse sont valables.

En confrontant ces analyses on a été obligé de constater qu'il ne s'en dégageait aucune conclusion précise vis-à-vis des variétés et des mélanges et que, dans de bonnes conditions individuelles, un engrais vert donne toujours de bons résultats.

Les chiffres ci-dessous s'appliquent aux parties vertes des végétaux.

A. — MATIÈRE VERTE PAR HECTARE

La variation notée va de 2,5 tonnes pour un ray grass de Westervold, peu réussi, à 36 tonnes pour un mélange de pois-vesces-féveroles. On ne peut utiliser le dépouillement pour classer la valeur des espèces ou des mélanges, les résultats étant sans doute beaucoup plus sous la dépendance des conditions culturales dans lesquels ils ont été obtenus. Les variations internes pour une espèce ou un groupe d'espèces sont les suivantes :

	Nombre d'échantillons	Rendement en tonnes Maximum	Minimum
Mélange Pois, Vesces, Féveroles	4	36	14
Colza	1	32	
Silleta (radis chinois)	1	25	
Mélange Vesces, Féveroles	2	19	17,7
Vesces	2	18,3	16,4
Féveroles	2	17,8	9,8
Ray grass Westervold	6	22	2,5
Ladino	4	11,5	7,4
Minette	4	6,2	4
Orge	1	4,75	
	27	36	2,5

B. — MATIÈRE SÈCHE PAR HECTARE

Ce résultat est évidemment fonction de deux données, la teneur en matière sèche du produit, et la quantité de matière verte fournie à l'hectare.

a) Teneur en matière sèche :

Reprenant la même disposition que précédemment nous aurons le tableau suivant :

	M. S. % mat. verte		
	Maximum		Minimum
	—		—
Ray grass Westervold	23,9		11,3
Ladino	23,8		19,5
Minette	27,1		25,2
Orge		14,3	
Vesces, Féveroles	14,1		12,3
Féveroles	11,8		8,2
Pois, Vesces, Féveroles	11,4		8,8
Colza		10,5	
Silleta		9,3	
Vesces	8,2		7,5
	27,1		7,5

Ces résultats ne peuvent pas être pris comme référence absolue car la matière sèche semble varier dans une proportion inverse du rendement en matière verte.

Cependant le premier classement établi en fonction de la matière verte est entièrement bouleversé si l'on considère la matière sèche. Il semble important de noter ce point, étant donné que la quantité de matière sèche enfouie représente effectivement l'apport de matière organique.

	Kg M. S./Ha		
Pois, Vesces, Féveroles	4,100		1,260
Colza		3,370	
Vesces, Féveroles	2,690		2,160
Silleta		2,330	
Ladino	2,250		1,620
Ray grass Westervold	2,000		600
Minette	1,580		1,020
Féveroles	1,460		1,160
Vesces	1,375		1,320
Orge		680	
	4,100		600

Ce tableau montre que la minette a donné à l'hectare, plus de matière sèche que les Vesces pour un tonnage de matière verte 3 fois plus faible. Ces variations pourraient être liées d'une part aux conditions culturales (durée de végétation) et d'autre part à l'âge de la plante au moment de la récolte.

C. — Azote

Pour l'azote il faut tenir compte de ces mêmes influences. Nous trouverons en effet des écarts considérables de richesse pour une même variété mais ces écarts sont en quelque sorte tamponnés par le rendement.

Teneur en p. 100 *de la matière sèche*

	N % de M. S.		
	Maximum		Minimum
Vesces	4,7		4,52
Pois, Vesces, Féveroles	4,52		2,72
Féveroles	3,9		2,65
Vesces, Féveroles	3,70		3,63
Ray grass Westervold	3,36		1,5
Siletta		2,95	
Ladino	2,87		2,59
Colza		2,83	
Minette	2,12		1,78
Orge		2,21	
	4,7		1,5

Quantités d'azote contenues dans les parties aériennes

	Kg N/Ha		
Pois, Vesces, Féveroles	112		92
Vesces, Féveroles	97		81
Colza		95	
Siletta		69	
Ladino	62,5		41
Vesces	62		62
Ray grass Westervold	58		11
Féveroles	57		31
Minette	34		20,7
Orge		15	
Écart absolu	112		11

La quantité d'azote enfouie suivant nos prélèvements a donc varié de 11 à 112 kg à l'hectare (amplitude 1 à 10).

D. — Acide phosphorique

Pour l'acide phosphorique et la potasse, aux éléments de variations déjà mentionnés pour les teneurs en matière sèche et en azote, il faut ajouter la richesse des sols.

On obtient les classements suivants :

Teneur en p. 100 *de la Matière sèche*

	P_2O_5 % de M. S.		
	Maximum		Minimum
Vesces	1,66		1,29
Ray grass Westervold	1,46		0,59
Pois, Vesces, Féveroles	1,24		0,87
Colza		1,2	
Vesces, Féveroles	1,20		1,06
Féveroles	1,15		1,17
Siletta		1,09	
Orge		1,06	
Ladino	1,02		0,72
Minette	0,82		0,73
	1,66		0,59

Quantités de P_2O_5 contenues dans les parties aériennes

	Kg P_2O_5/ha		
Colza		40,3	
Pois, Vesces, Féveroles	35,7		14
Vesces, Féveroles	29		26
Ray grass Westervold	25,4		5,7
Siletta		25,4	
Vesces	21,8		17,7
Ladino	20,6		13,4
Féveroles	17,3		13,6
Minette	13,3		8,1
Orge		7,2	
	40,3		5,7

E. — Potasse

Teneur en p. 100 de la Matière sèche

	K_2O % de M. S.	
	Maximum	Minimum
Ray grass Westervold	7,11	1,67
Pois, Vesces, Féveroles	5,84	2,7
Vesces, Féveroles	5,40	3,1
Colza	5,2	
Féveroles	4,75	3,36
Orge	4,47	
Siletta	4,40	
Vesces	4,38	3,71
Ladino	2,97	2,3
Minette	2,34	1,82
	7,11	1,82

Quantités de K_2O contenues dans les parties aériennes

	Kg K_2O/ha		
Colza		172	
Vesces, Féveroles	126		84
Ray grass Westervold	124		16
Pois, Vesces, Féveroles	122		56
Siletta		100	
Vesces	62		51
Ladino	58		41
Féveroles	55		49
Minette	37		18
Orge		30	
	172		16

Conclusions. — Ces résultats ont simplement comme intérêt de noter les variations considérables observées dans les conditions de la pratique sans que toutes les possibilités soient encore représentées. Ils sont consignés, malgré leur caractère peu scientifique, pour indiquer combien il est indispensable d'analyser les productions d'engrais verts si l'on ne veut pas se heurter à des erreurs énormes dans les calculs de fumure. En dehors de la disparité, que l'on a signalée, entre le rendement en matière verte et en matière sèche, les mouvements d'éléments fertilisants varient dans des proportions voisines de 1 à 10. Cela peut se tra-

duire par des effets divers sur l'alimentation des plantes venant après les enfouissements.

Quant aux effets sur l'entretien de la matière organique il n'est pas besoin de souligner que l'on peut difficilement comparer des apports de matière sèche allant de 600 à 4 100 kg à l'hectare et dosant de 1,5 à 4,7 p. 100 d'azote.

Actions comparées du fumier et de la paille en grande culture. — P. ANNE et R. MAROCKE (*Colmar*).

Cette expérience a été poursuivie pour la 9e année sur les mêmes parcelles qui reçoivent tous les ans les doses indiquées plus loin des différentes matières expérimentées ; on sait que dans les trois traitements à base de paille la quantité de carbone apportée est sensiblement la même et que la dose de fumier a été choisie de manière à contenir une quantité d'azote total très voisine de celle qui est appliquée dans les traitements paille + azote minéral et paille + luzerne.

	Témoin	Fumier (17 000 kg)	Paille (7 500 kg)	Paille (7 500 kg) + azote minéral (45 kg)	Paille (6 000 kg) + foin de luzerne (1 500 kg)
	Doses par hectare				
Pommes de terre					
Rendements (T/ha)	21,1	26,3	21,8	24,6	25,2
Différences significatives : P = 0,05 2,1 P = 0,01 3,5					
Indice de comparaison	100	125	103	117	119
Blé de printemps					
Grain :					
Rendements (Qx/ha)	22,7	26,4	22,5	26,5	25,3
Différences significatives : P = 0,05 1,7 P = 0,01 2,8					
Indices de comparaison	100	116	99	117	111
Paille :					
Rendements (Qx/ha)	40,1	49,3	40,7	46,4	44,5
Différences significatives : P = 0,05 8,2 P = 0,01 13,6					
Indices de comparaison	100	123	101	116	111
Orge de printemps					
Grain :					
Rendements (Qx/ha)	16,9	20,9	18,7	23,3	23,0
Différences significatives : P = 0,05 7,9 P = 0,01 13,0					
Indices de comparaison	100	124	111	138	136
Paille :					
Rendements (Qx/ha)	28,7	44,3	35,0	47,5	47,5
Différences significatives : P = 0,05 4,3 P = 0,01 7,2					
Indices de comparaison	100	154	122	165	165

Au point de vue climatique, l'année 1957 a été caractérisée par un printemps peu arrosé, puis par des précipitations importantes du début de juin à la fin de juillet.

La végétation du blé de printemps (Fylgia), de l'orge de printemps (Aurore) et de la pomme de terre (Ostbote) s'est effectuée normalement, mais la sécheresse du printemps a gêné le développement des deux premières plantes, surtout de l'orge. De plus, on a observé que le développement des trois plantes a été moins vigoureux dans les parcelles témoins et dans les parcelles à paille seule que dans les autres traitements.

Les rendements obtenus en 1957 ont été les suivants (voir le tableau page 337).

Conclusions. — Les rendements obtenus dans le traitement comportant de la paille sans adjonction d'azote sont, selon les cas, égaux ou supérieurs à ceux du témoin, mais on ne constate pas d'effet dépressif par rapport à ce dernier ; on n'en a observé aucun, d'ailleurs, depuis plusieurs années ; il est à remarquer à ce sujet que les sols des parcelles à paille seule et des parcelles témoins sont différenciés, en raison des apports annuels effectués, et que les premiers sont pourvus d'un certain volant d'azote grâce auquel la destruction de la paille n'entraîne pas de carence des plantes en cet élément.

Le fumier permet d'obtenir des rendements égaux ou légèrement supérieurs à ceux que l'on a, grâce à la paille, additionnée d'azote minéral ou organique.

L'ensemble des résultats obtenus depuis 1948 met en évidence l'intérêt de l'utilisation, sous le climat semi-aride du centre de la plaine d'Alsace, de la paille additionnée d'une quantité convenable d'azote minéral.

Restitution de matière organique au sol en fonction de la fumure minérale du maïs. — J. Delmas et G. Theiller (*Pont-de-la-Maye*).

Une évaluation du tonnage des déchets culturaux réincorporés au sol après exportation des grains a été faite sur des parcelles recevant différents traitements, à Solférino en 1957.

On constate que les restitutions organiques sont considérablement augmentées par la fumure minérale, surtout par la fumure azotée.

Le rapport $\frac{\text{matière organique restituée}}{\text{grains secs exportés}}$ est pour une fumure minérale moyenne de 1,4 à 1,5 environ.

Un apport supplémentaire d'azote fait passer ce rapport à 2,0. La suppression de l'azote ou de l'ensemble de la fumure diminue surtout le rendement en grains et par suite, conduit à des rapports anormalement élevés.

Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Traitement	Exportation/ha qx grains secs	Parties végétatives réincorporées		Total	Rapport pailles + rafles / grains
		paille sèche qx ha (1)	rafles sèches qx ha (2)		
T_0 non fertilisée depuis 1954 .	1,8	12,6	1,3	13,9	7,7
T_1 fumure NPK 140 kg N .. 150 kg P_2O_5. 150 kg K_2O	33,9	60	11,3	71,3	2,1
T_2 fumure NPK identique + 500 kg de chaux magnésienne	47,3	54	14,4	68,4	1,5
N_0 fumure o N ..... 150 P_2O_5 ..... 150 K_2O	6,1	22,8	1,6	24,4	4,0
N_3a fumure 180 N ..... 150 P_2O_5 ..... 150 K_2O	59,4	100	15,9	115,9	2,0
K_0 fumure 140 N ..... 150 P_2O_5 ..... o K_2O	35,3	42	9,2	51,2	1,4
K_2 fumure 140 N ..... 150 P_2O_5 ..... 120 K_2O	41,6	49	9,5	58,5	1,4
P_0 fumure 140 N ..... o P_2O_5 ..... 150 K_2O	54,8	63	13,7	76,7	1,4
P_3d fumure 140 N ..... 200 P_2O_5 ..... 150 K_2O	62,8	74	24	98	1,6

(1) Humidité très variable, comptée en moyenne pour 40 %.
(2) Humidité moyenne 45 %.

VII. — FERTILISATION

1. — EXPÉRIMENTATION GÉNÉRALE

Étude de l'épuisement du sol en climat semi-aride. — P. ANNE et R. MAROCKE (*Colmar*).

Cette étude entreprise en 1948 porte sur un sol calcaire d'origine loessique, de bonne profondeur, assez peu lessivé, donc possédant des réserves importantes ; ce sol a une capacité de production élevée mais l'approvisionnement en eau, souvent insuffisant, limite les rendements. Le but de cette expérience est d'étudier les réserves du sol et leur influence sur la production.

Le terrain a été partagé en trois soles, de telle manière que les trois plantes : pommes de terre, blé et orge soient cultivées chaque année. Les traitements sont les suivants : T (témoin sans engrais), NP, NK et NPK, et les engrais sont appliqués tous les ans.

Voici la composition du sol au début de l'expérience (pour mille de terre fine) :

Soles	I Pommes de terre	II Blé de printemps	III Orge de printemps
CO_3Ca	80	82	65
N total	1,31	1,70	1,56
P_2O_5 assimilable (méthode citrique)	0,52	0,53	0,40
K_2O échangeable	0,45	0,31	0,40
C organique	14,5	14,4	12,4

Conditions de l'expérience

Dispositif expérimental : Blocs de Fisher (4 répétitions) :

	I Pommes de terre	II Blé d'automne	III Orge de printemps
Variétés	Ostbote	Pévèle	Aurore
Doses d'engrais (kg/ha) :			
N	80	45	40
P_2O_5	80	70	60
K_2O	100	70	60

Rendements obtenus :

	Rendements et indices de comparaison				Différences significatives		
	T	NP	NK	NPK	P = 0,05	P = 0,01	P = 0,001
Pommes de terre							
Tubercules :							
Rendements (t/ha).....	16,8	23,2	22,8	25,1	3,4	4,9	7,2
Indices de comparaison...	100	138	136	149			
Blé							
Grain :							
Rendements (qx/ha).....	19,8	31,9	30,1	29,6	4,5	6,4	9,5
Indices de comparaison...	100	161	152	149			
Orge							
Grain :							
Rendements (qx/ha).....	20,6	27,7	24,5	26,9	4,0	5,7	8,5
Indices de comparaison...	100	134	119	131			

CONCLUSIONS. — L'épuisement du sol en phosphore et en potassium par la culture a été observé depuis cinq ans mais il n'est pas encore très poussé ; il s'est manifesté en 1957 avec une intensité moindre qu'en 1956 ; les facteurs climatiques paraissent avoir une influence assez nette sur l'aptitude des plantes à prélever dans le sol les éléments en question.

L'ensemble des observations effectuées montre que ce sol d'origine loessique, peu épuisé, possède des réserves importantes en phosphore et en potassium ; en ce qui concerne en particulier ce dernier élément, l'abaissement de la teneur de la fraction considérée comme échangeable ne représente qu'une quantité très inférieure aux exportations. Cette expérience fournit des renseignements intéressants sur la dynamique des éléments assimilables et sur l'estimation des réserves non assimilables immédiatement, mais susceptibles de le devenir.

Les connaissances actuelles sur la fertilisation en Auvergne. — D. COLLIER et L. GACHON (*Clermont-Ferrand*).

En Auvergne l'intensification de la fertilisation est principalement un problème d'eau pour les cultures de plaine, et de technique d'exploitation pour les prairies de montagne.

Dans tous les cas, les engrais organiques et azotés restent la base de la fumure. L'étude de l'économie de l'azote en fonction du milieu et des techniques d'exploitation est donc ensuite le problème le plus important.

Les réactions à l'acide phosphorique et surtout à la potasse sont généralement faibles. Cela tient probablement à ce que les sols de l'Auvergne sont relativement plus riches en ces éléments que les limons du bassin parisien par exemple. Mais l'intensification de la production par un meilleur aménagement de l'eau, par la pratique de nouvelles techniques d'exploitation, par l'extension des variétés à grand rendement et enfin

par l'emploi rationnel de la fumure azotée, conduira nécessairement à un accroissement sensible des besoins phospho-potassiques, et peut-être même à l'apparition de carences en certains oligo-éléments. Cependant si l'on considère que la potasse est l'élément relativement le moins exporté, quelle que soit la production, les besoins en potasse seront toujours les plus faibles, à condition toutefois que l'exploitant veille soigneusement à retourner à ses sols les résidus de ses récoltes et les déjections de son bétail.

Enfin, on a vu qu'en terrains acides l'amendement calcaire n'était pas toujours une pratique avantageuse, à moins qu'on ne désire introduire des plantes vraiment neutrophiles telle que la luzerne.

Ce travail a fait l'objet d'un mémoire au 30e Congrès de Chimie industriel d'Athènes *Chimie et Industrie*, vol. 78, nº 3 *bis*, p. 107).

Formes d'Azote et doses de Potasse. — G. LEFÈVRE, G. HIROUX (*Amiens*).

Ce champ, mis en expérience en automne 1953 pour différencier les parcelles par leurs traitements azotés et potassiques, a porté successivement :

1953-54 Betteraves.
1954-55 Blé.
1955-56 Betteraves.
1956-57 Blé.
1957-58 Luzerne.

La disposition générale des parcelles, les traitements successifs et les résultats des trois premières années sont reportés dans les comptes rendus annuels antérieurs sur la fertilisation.

TABLEAU I

Fumures apportées

Traitements	A		B		C		D	
N nature	Nitrate Na	Verts	Nitrate Ca	Verts	Ammonitre	Verts	Ammonitre	Verts
Quantité N								
Avant labour		128		133		143		97
Le 28. 2. 57	40		40		40		40	
11. 4. 57	30		30		30		30	
30. 5. 57							30	
P_2O_5 nature	Super	Verts	Super	Verts	Super	Verts	Super	Verts
Quantité P_2O_5		40		40		40		40
Le 30. 10. 56	80		80		80		80	
K_2O nature	KCl	Verts	KCl	Verts	KCl	Verts	KCl	Verts
Quantité K_2O								
Le 30. 10. 56 K_0	0	167	0	175	0	197	0	172
K_1	40	161	40	192	40	215	40	172
K_2	80	195	80	234	80	237	80	197

Les résultats de cette année portent donc sur du blé derrière betteraves. (Les verts de betteraves ont été enfouis).

Le tableau I donne en résumé, les quantités d'éléments fertilisants que les blés ont reçu au cours de l'année culturale.

Ce tableau permet en particulier de voir l'effet cumulatif des traitements dont un aperçu est fourni par les richesses variables des apports dus aux verts.

A la récolte, le 13-8-57, la variété Abondance a donné les résultats figurés avec leur erreur moyenne dans le tableau II.

TABLEAU II

Rendements en quintaux/ha du blé. Abondance suivant les traitements

Traitement	A N = 70	B N = 70	C N = 70	Moyenne des parcelles à N = 70	D N = 100	Moyenne générale des traitements potassiques
K_0	52,8 ± 1,2	53,1 ± 0,57	52,1 ± 0,2	52,5	50,5 ± 0,8	52,0
K_1	53,4 ± 0,6	49,1 ± 1,3	51,9 ± 0,6	51,5	51,9 ± 0,8	51,6
K_2	52,7	49,8 ± 1,0	49,0 ± 0,04	50,5	48,2 ± 1,15	49,9
Moyenne des traitements azotés	52,3	50,7	51,0	51,5	50,2	51,2

La discussion statistique des résultats, peut être résumée par un schéma dans lequel les différences significatives entre les traitements sont indiquées par un trait plein :

N = 70			N = 100
Nitrate de soude	Nitrate de chaux	Ammonitrate	Ammonitrate
A	B	C	D
K_0	K_0	K_0	K_0
K_1	K_1	K_1	K_1
K_2	K_2	K_2	K_2

Dans ce schéma seule la différence entre les parcelles K_0 à nitrate de soude (A) et à ammonitrate (C) n'est pas significative. Les différences entre les trois traitements potassiques des parcelles à N = 100 sont significatives.

Ces chiffres montrent la supériorité des parcelles à nitrate de soude sur celles au nitrate de chaux quelque soit le traitement potassique

et la légère infériorité des parcelles à ammonitrate avec K_0 et K_1.

Cette conclusion est différente de celle observée en 1955 où le maximum de rendement avait été obtenu par le traitement ammonitrate K_2.

Cela conduit à étudier l'effet cumulatif des traitements potassiques. Alors qu'en 55 la moyenne générale des traitements azotés était favorable à la plus forte fumure potassique cette année elle place en premier la fumure la plus faible. Cela peut s'expliquer par un effet dépressif des fumures trop élevées dans cette rotation économique au point de vue potassique. Les verts enfouis fournissent dans l'absolu des quantités suffisantes de potasse pour subvenir aux besoins du blé.

Importance de trois des facteurs essentiels de la productivité des blés d'automne cultivés dans la vallée de la Garonne. — H. MALTERRE et S. FIORAMONTI (*Toulouse*).

Les expériences poursuivies durant 8 années, de 1949-50 à 1957, dans la région de Plaisance-du-Touch Saint-Lys, sur sols dits de « boulbènes », dérivés des alluvions anciennes de la basse et de la moyenne terrasse de la Garonne (Terrasses a^{1b} et a^{1c}) conduisent aux principales conclusions suivantes :

1° Tout d'abord les rendements dépandent avant tout des caractéristiques du milieu sol-climat (*CR. Ac. Ag.* 1957, p. 199).

— dans les alluvions fluviatiles de la région de Toulouse, l'augmentation de la pluviosité durant les mois d'hiver diminue fortement la production ; exactement comparable à celles établies autrefois pour les limons du Bassin de Paris, cette règle est ici assez inattendue, puisqu'elle est valable dans une zone où la culture souffre le plus souvent de la sécheresse.

— les terrasses de la Garonne sont couvertes de sols très différents du point de vue de leur degré naturel de fertilité et, comme le montre le tableau ci-après, pour faire apparaître avec toute la netteté désirable l'influence du climat il est indispensable, avant d'effectuer les comparaisons, de classer les résultats d'après la nature des sols sur lesquels ils ont été obtenus.

2° Le rôle des fumures minérales s'est révélé d'une extrême importance. En particulier une fois supprimé le facteur limitant qui est la pauvreté en acide phosphorique, l'azote redevient, comme presque partout ailleurs, le *pivot de la fumure*. Enfin, un certain apport d'engrais potassique était également nécessaire pour atteindre le rendement maximum. En définitive pour les huit années considérées la fumure N P K a sensiblement doublé les rendements, portant ces derniers de 13 à plus 25 quintaux.

Il faut noter que les exigences concernant les dates d'épandage sont de faible importance pour la fumure phospho-potassique, puisque, l'ali-

mentation est assurée principalement par arrière-action aux dépens des reliquats accumulés des fumures antérieures ; mais il est important, sous le climat de Toulouse, que la totalité de la fumure azotée soit en place de bonne heure, au plus tard dans les tous premiers jours de mars.

Pluies d'hiver (déc. janv. fév.) mm.	Années	Rendements en grains en qx/ha en présence d'une fumure ternaire N. P. K. (Expérience de la station de Toulouse)		
		Sols limoneux profonds	Sols caillouteux ou graveleux peu profonds	
103	1957	40,2 (Etoile-de-Choisy (1)		moy.
114	1954		31,4 (Etoile-de-Choisy	28,6
139	1956		21,3 (Etoile-de-Choisy	
143	1950	35,8 (G-4)		
143	1953		14,5 (G-4)	
225	1951	26,8 (Inaletabile 8)		moy.
236	1952	23,6 (G-4)		20,3
272	1955		10,2 (Etoile-de-choisy)	
		moyenne : 31,6	moyenne : 19,4	

(1) La récolte de 1957 ayant été détruite par un orage à grêle d'une rare violence, le rendement a été évalué d'après l'aspect des cultures et d'après la densité du peuplement.

A ces conditions, les fumures minérales sont remboursées de 2 à 4 fois par le seul excédent de grain obtenu. En plus un cycle permanent, à la fois nécessaire et inévitable, de fertilisation phospho-potassique est ainsi amorcé ou entretenu ; enfin la fertilité générale du sol est progressivement relevé ce qui augmente considérablement la rentabilité de l'opération.

3° Dans toute la région de Toulouse, Etoile-de-Choisy a donné presque constamment des rendements nettement supérieurs à ceux obtenus avec d'autres variétés, plus anciennement utilisées .

Cette variété, très productive en toutes situations, réagit très énergiquement aux apports d'engrais :

Années	Variétés	Excédent moyen apporté par 60 kg d'azote (qx/ha)
1950 à 1953.....	G/4 et Inaletabile 8	6,1 (3,7 à 8,8)
1954 à 1957.....	Etoile de Choisy	10,4 (5,3 à 14,8)

Ainsi le blé, Etoile-de-Choisy, apparaît bien comme étant un remarquable utilisateur de l'engrais azoté, ce qui s'explique en partie par la faiblesse du rapport paille /grain, qui est caractéristique de cette variété.

Recherches sur les principaux facteurs limitants du rendement du Blé et du Maïs. — J. DULAC (*Montpellier*).

L'auteur a envisagé 3 aspects de ce problème :

A. — L'influence des facteurs pédo-climatiques,

B. — L'influence du rythme de l'alimentation azotée,

C. — La relation « alimentation minérale — rendement ».

A. — **Influence des facteurs pédo-climatiques à Saint-Martin-de-Hinx.**

Les premières observations ont été faites à la Station d'Amélioration du Maïs de Saint-Martin-de-Hinx (Landes).

Le champ permanent de Saint-Martin comporte 8 parcelles différemment fumées, recevant en outre 40 000 Kg de fumier tous les 4 ans ; elles sont soumises à un assolement quadriennal : Maïs — Haricot — Maïs — Blé.

Malgré un recul insuffisant, puisque les observations ne portent que sur 4 années (1954-1955-1956-1957), il est possible néanmoins de formuler quelques conclusions.

1° Rôle des pluies d'hiver.

Leur rôle néfaste à l'égard des nitrates est aggravé dans cette région par la perméabilité des terres et l'importance des précipitations : 226 m/m (1957), à 495 m/m (1954) pour les 3 mois : janvier, février et mars. Le ruissellement est probablement négligeable, de sorte que les pertes de nitrates sont proportionnelles aux pluies reçues. Nous en avons eu la preuve indirecte dans l'observation suivantes : chez le maïs, au moment de la floraison, la teneur en azote de la feuille de l'épi est inversement proportionnelle aux quantités d'eau tombées en janvier, février et mars, aussi bien dans le témoin que dans les parcelles fumées.

Pour le blé également l'alimentation azotée est étroitement liée à la pluviométrie de l'hiver.

Pour si évidente qu'elle paraisse, cette observation comporte une application que la pratique dans cette région ne saurait négliger :

la détermination rationnelle de la quantité d'azote à appliquer au printemps pour le blé — ou au semis pour le maïs — devrait être basée sur la hauteur des pluies recueillies pendant l'hiver.

2° Rôle des pluies de printemps et d'été.

Pour le blé les quantités d'eau tombées en avril, mai et juin paraissent jusqu'à présent insuffisantes pour assurer une très forte récolte.

Pour le maïs l'alimentation azotée en fin de végétation est proportionnelle aux quantités d'eau tombées en juin, juillet, août et septembre. En outre l'alimentation phosphatée et potassique peut être sensiblement doublée par une forte pluviométrie.

A Saint-Martin-de-Hinx, les facteurs pédo-climatiques apportent des fluctuations parfois considérables au pouvoir alimentaire du sol.

3° Facteurs limitant chez le blé.

Quatre facteurs peuvent limiter les rendements du blé à Saint-Martin-de-Hinx.

a) un lessivage excessif des nitrates en hiver,

b) un tallage faible,

c) une humidité insuffisante au printemps,

d) une fumure azotée insuffisante ou mal répartie.

Le facteur *a* peut être apprécié par un relevé pluviométrique et corrigé par une fumure azotée convenable.

Sur le facteur *b* on a peu d'action.

Le facteur *c* n'a pas de remède.

Le facteur *d* peut être corrigé après une expérimentation suffisante.

Actuellement le rendement maximum paraît être de 45 à 50 qx/ha, avec 80 et 100 kg d'azote.

Quand les conditions sont favorables, chaque kilogramme d'azote minéral élève les rendements de 25 à 30 kg de grain, exceptionnellement jusqu'à 35-40 kg.

4° FACTEURS LIMITANTS CHEZ LE MAIS.

Trois facteurs peuvent limiter les rendements du maïs à Saint-Martin-de-Hinx :

a) un lessivage excessif des nitrates en hiver ou au printemps,

b) une humidité insuffisante en été (par exemple 1955),

c) une fumure azotée insuffisante ou mal répartie.

Le facteur *a*, comme pour le blé, peut être apprécié par un relevé pluviométrique et corrigé en conséquence par une fumure convenable au semis.

Le facteur *b* n'a pas de remède.

Le facteur *c* peut être corrigé après expérimentation suffisante.

Il existe une corrélation négative entre l'alimentation azotée et les pluies d'hiver, et une corrélation positive pour les pluies d'été. Comme les rendements sont sous la dépendance de l'alimentation minérale des plantes, il en résulte qu'ils doivent être étroitement liés aux variations du rapport :

$$\frac{\text{pluies d'été}}{\text{pluies d'hiver}}.$$

Effectivement, quand ce rapport passe de 0,64 à 1,56, le rendement des témoins passe de 40 à 65 qx/ha et celui des parcelles fumées de 55 à 93 qx/ha.

5° PERTES DE NITRATES.

Le sol de Saint-Martin, léger, perméable, humide, offre des conditions extrêmement favorables à la décomposition de la matière organique. D'autre part, la pluviométrie est très élevée : 1 400 m/m par an, et le ruissellement probablement insignifiant.

Pour ces diverses raisons, l'entraînement des nitrates en profondeur doit être particulièrement important en sol nu. D'après une estimation grossière, ces pertes paraissent supérieures à 150 kg d'azote par hectare certaines années. La contribution du sol à l'alimentation azotée des récoltes est donc en général extrêmement faible malgré une réserve importante en azote organique de l'ordre de 10 000 kg sous 60 cm.

6° Evolution de la fertilité.

Des échantillons sont prélevés périodiquement pour suivre les progrès de l'enrichissement ou de l'appauvrissement des diverses parcelles. Les résultats seront publiés ultérieurement.

B. — **Influence du rythme de l'alimentation azotée chez le blé.**

Une étude préalable était indispensable. Elle a été faite à Lavalette (près de Montpellier) sur un champ de 2 hectares (Etoile de Choisy) sur lequel on cherchait à obtenir la plus haute production possible. Or le rendement n'a guère dépassé 50 qx/ha malgré une forte densité (580 épis) et une pluviométrie exceptionnellement favorable.

Des échantillons hebdomadaires prélevés de janvier à fin juin ont permis de suivre la marche de l'alimentation azotée et de constater une alimentation du type décroissant, c'est-à-dire qu'une carence relative est apparue au moment de la formation du grain.

L'explication est la suivante :

La fertilité azotée du sol a été sous-estimé et l'apport de 40 kg au semis s'est révélé excessif. Le départ de végétation s'est donc fait en milieu surazoté et le blé a pris un tel développement qu'il n'était pas possible de lui fournir — sans danger — la fumure nécessaire pour soutenir le rythme primitif auquel il avait été soumis.

L'apport de 30 kg en cours de montée s'est relevé insuffisant.

Dans un terrain pauvre, mais soumis à l'irrigation, on a bien plus de facilité pour rester maître du rythme de l'alimentation azotée ; c'est ainsi qu'en Provence, nous avons pu obtenir, sans difficulté, sur 1/3 d'hectare, pendant 3 années consécutives, des rendements de 85 à 90 qx/ha.

C. — **Relation entre l'alimentation minérale et le rendement.**

a) Pour l'azote.

Les observations de 1957 ont confirmé l'utilité de cette relation pour l'étude de l'adaptation mutuelle de la densité, de la fertilité naturelle ou acquise du sol et de la meilleure répartition de l'azote au cours de la végétation chez le blé et le maïs.

b) POUR L'ACIDE PHOSPHORIQUE.

Des cultures de blé carencées en P_2O_5 ont été examinées. Les résultats seront donnés ultérieurement.

c) POUR LA POTASSE.

Des cultures carencées en potasse ont également été prospectées Pour le blé, le champ du « Petit Béle « de la Société commerciale des Potasses d'Alsace nous a permis de trouver une relation entre l'alimentation potassique et le développement.

A l'égard du maïs, des observations intéressantes en sol carencé ont été faites sur des échantillons provenant des bassins d'expérience du service agronomique de l'Office national industriel de l'Azote à Toulouse.

Ces observations concernent :

— la détermination des seuils de carence alimentaire ;

— l'aggravation de ces carences par une fumure phospho-azotée ;

— la présence d'anomalies alimentaires qui ont pu être expliquées par le passé cultural de la parcelle.

Influence des fumures phosphatées et potassiques sur le rendement des pommes de terre tardives (Ackersegen). — M. COPPENET (*Quimper*).

Le champ d'essai a été mis en place à Pleyben (Finistère) dans le but d'être suivi pendant plusieurs années.

En 1956, 1re année d'essai, il a été cultivé une avoine qui n'a pu être pesée par suite des mauvaises conditions atmosphériques au moment de la moisson.

Il s'agit d'un sol du bassin de Chateaulin, formé sur les schistes carbonifères du même nom. L'analyse du sol était la suivante, au début de l'essai :

Argile	15 à 20 %	pH 6,4 — 6,5
Limon	24 %	Azote total 2,6 à 2,8 ‰
Sables fins	40 %	P_2O_5 citrique 0,045 ‰ (teneur fréquemment rencontrée en Bretagne)
Sables grossiers.....	10 %	K_2O Schlœsing : 0,100 à 0,120 ‰

Ce terrain, qui avait reçu du calcaire, est resté sous lande durant plusieurs années avant l'expérience.

Dispositif expérimental : 4 blocs de 9 traitements soit 36 parcelles élémentaires de 100 m_2.

P_0 = pas d'engrais phosphatés ;

P_1 = 100 unités de P_2O_5 en deux ans, soit 250 kg/ha de scories sur avoine en 1956 et 280 kg/ha de super sur pommes de terre en 1957 ;

P_2 = 200 unités P_2O_5 en deux ans ;

K_0 = pas d'engrais potassiques ;

K_1 = 225 unités K_2O en deux ans, soit 125 kg/ha de chlorure sur avoine en 1956 et 250 kg/ha sur pommes de terre en 1957 ;

K_2 = 450 unités K_2O en deux ans.

Avant plantation de la pomme de terre, il a été enfoui 20 tonnes de fumier hectare sur toutes les parcelles ; de plus, 30 unités d'azote du sulfate d'ammoniaque ont été épandues dans le sillon de plantation.

Conclusions :

1° En terre très pauvre en acide phosphorique, l'apport de 200 unités P_2O_5 par hectare, réparties sur deux ans, fait passer le rendement total en tubercules de 18 tonnes/ha à 22,5 tonnes/ha (indices 100 à 125). Cette dose n'est pas optimum, puisque 380 unités apportées dans les mêmes conditions portent le rendement aux environs de 25 tonnes/ha. Il ne faut pas oublier qu'il s'agit d'une variété de pomme de terre tardive dont les fanes furent détruites le 10 août.

2° Le total des calibres intéressants pour le plant (25-40 et 40-80 g) voit son rendement passer de 14 tonnes/ha dans les témoins à 17 tonnes/ha environ, dans toutes les parcelles à engrais phosphatés (indices 100 à 120). La répartition moyenne entre les deux calibres était la suivante :

	25 — 40 g	40 — 80 g
Parcelles sans P	56 %	44 %
Parcelles avec P	42 %	58 %

3° Les calibres supérieurs à 80 g s'élèvent de 2 tonnes/ha à plus de 6 tonnes/ha avec les plus fortes doses de phosphore et de potasse.

4° L'action des engrais potassiques se fait sentir essentiellement sur les gros tubercules et ceci d'autant plus que l'apport phosphorique a été plus abondant. L'acide phosphorique est le facteur limitant sur ce type de sol.

Résultats de quatre années d'expériences sur prairie temporaire. — H. Malterre et J. Dumail (*Toulouse*).

Expérience poursuivie depuis quatre ans à Cabanac-Séguenville en Lomagne sur « boulbène des plateaux » silico-argileuse (13,2 p. 100 de colloïdes minéraux), légèrement acide (pH = 6,2), pauvre en humus et en acide phosphorique, moyennement pourvue en potasse.

Créée en 1954 par semis d'un mélange à 9 composants (dominance de fromental, dactyle, ray-grass, de luzerne et de lotier), cette prairie subit chaque année une coupe au printemps et est ensuite pâturée par les moutons.

Sur des parcelles de 36 m² (6 × 6), disposées en bloc de Fisher, avec 4 répétitions, on a apporté des fumures correspondant à 64 kg/ha de P_2O_5 du superphosphate et à 50 kg de K_2O du chlorure ; en plus on a procédé, chaque anné, en février, à l'épandage de 50 ou de 40 kg d'azote de l'ammonitrate. Enfin certaines formules comportaient l'apport de 1 500 kg de chaux agricole à l'hectare.

En 1954, en raison du très faible développement de la végétation imputable à la sécheresse, il n'y a pas eu de fauche et seulement pacage par les moutons.

En 1955, les rendements ont encore été très faibles puisque compris au moment de la coupe de la mi-mai entre 0,6 t et 2 tonnes de foin sec à l'hectare ; à ce moment cinq espèces avaient déjà complètement disparu du mélange qui ne renfermait plus que du ray-grass anglais et italien, du fromental et 5 p. 100 de lotier.

En 1956, pour les 6 formules comparées les rendements étaient sensiblement doubles de ceux obtenus l'année précédente ; le mélange, durement sélectionné par les gelées de février, était constitué seulement de ray-grass anglais (50 p. 100), de fromental (30 p. 100) et de 4 p. 100 de lotier.

En 1957, enfin, la production a encore augmenté de 50 à 60 p. 100 en moyenne ; le dactyle est réapparu associé au fromental, au ray-grass anglais, au pâturin, avec 18 à 20 p. 100 de lotier.

Voici les rendements obtenus au cours des trois dernières années.

Fumure minérale	tonnes/ha de foin sec à 15 p. 100 d'humidité				
	1955	1956	1957	Total	I. C.
En l'absence de chaux					
Témoin sans engrais	0,57	1,16	2,41	4,14	100
Fumure N. P. K	1,62	3,06	5,06	9,74	235,3
En présence de chaux					
Fumure sans azote (PK)	0,95	1,97	4,18	7,10	171,3
Fumure sans ac. phos. (NK)	1,26	2,48	3,62	7,36	177,8
Fumure sans potasse (NP)	1,92	3,38	4,68	9,98	241,1
Fumure N. P. K	1,99	3,40	4,56	9,95	240.3

En 1957, la plus petite différence significative pour P = 0,05 (95 chances sur 100 que la différence ne soit pas due au hasard) est égale à 0,49 t. En définitive :

— on a enregistré cette année une très forte diminution d'efficacité de l'engrais azoté. Ce résultat peut être dû à la surabondance des pluies de mai et de juin qui ont entraîné l'élément fertilisant en profondeur.

Mais une autre hypothèse ne saurait être exclue : dans les parcelles NPK, en raison de rendements constamment plus élevés, l'engrais phosphaté a été beaucoup plus complètement utilisé que sur les parcelles PK

et le facteur limitant (carence du milieu en acide phosphorique) est réapparu avec plus d'intensité, circonstance qui peut avoir réduit très sensiblement l'efficacité de l'engrais azoté.

— L'influence de la fumure phosphatée enfouie en 1954, était encore très sensible en mai 1957 comme le montre la différence de près d'une tonne (26 p. 100) existant entre les productions de NK et de NPK.

Mais il convient de ne pas oublier ici l'intéraction de N et de P ; en NK les rendements ont été fortement augmentés par l'apport d'azote, ce qui a rendu plus sensible la carence du milieu en acide phosphorique. En l'absence de ce facteur limitant le rendement de NK serait relevé, l'influence de la fumure phosphatée paraîtrait moindre.

— Cette année, comme les précédentes la fumure potassique n'a aucunement augmenté les rendements, ce qui s'explique par la richesse relative du sol en potasse.

— L'addition de 1 500 kg de chaux à la fumure NPK a provoqué cette année une réduction significative de rendements. Cette réduction peut s'expliquer à l'aide d'une hypothèse rencontrée précédemment : en 1955 et 56, les rendements en présence de chaux étaient un peu plus élevés que les rendements obtenus sur parcelles ayant reçu seulement la fumure ternaire ; corrélativement, il s'en est suivi des exportations plus fortes, donc une carence plus marquée en acide phosphorique, carence qui influence nettement les résultats culturaux enregistrés en 1957.

— En l'absence de cette cause limitante la fumure minérale a conservé une bonne part de son efficacité : en l'absence de chaux, la fumure ternaire NPK a, cette année, plus que doublé les rendements, apportant un excédent supérieur à 2 tonnes 1/2 de foin sec.

Conclusions : Cette expérience conduit à un certain nombre de conclusions d'ensemble :

1° Les fumures phosphatées jouent un rôle prépondérant dans les sols du sud-ouest qui sont presque tous extrêmement pauvres en acide phosphorique, et leur action est prolongée. Au cours du présent essai, 60 kg de P_2O_5 ont été efficaces durant quatre ans ; on peut en déduire compte-tenu du niveau actuels des rendements, que par des apports réguliers de 60 kg d'acide phosphorique par an, l'on accumulerait dans le sol des réserves importantes de P_2O_5 dont l'effet serait sensible pendant longtemps.

2° L'utilisation des engrais azotés est largement payante sur prairie temporaire, à la condition que le milieu soit suffisamment pourvu en acide phosphorique ; la carence du sol en cet élément, même en présence de reliquats phosphatés plus ou moins importants, empêche les autres éléments, spécialement l'azote, de donner la mesure de leurs possibilités.

3° L'association de l'acide phosphorique et de l'azote est indispensable pour obtenir des augmentations de rendements maximum ; parfois même l'engrais azoté et l'engrais phosphaté ne procurent aucun excédent alors que la fumnre N P est toujours efficace.

4° Sur ce sol qui n'était que légèrement acide, la chaux n'a pas favorisé les légumineuses au détriment des graminées. Il ne semble donc pas que la très légère augmentation de rendement constatée en 1955 et 1956 soit due à l'utilisation directe du calcium par la végétation ; on peut penser que l'apport de chaux a favorisé la nitrification des réserves organiques du sol, provoquant ainsi un apport supplémentaire, non négligeable d'azote rapidement utilisable.

Essais de fumures minérales et organiques sur prairie temporaire. — S. FIORAMONTI et J. R. MARTY (*Toulouse*).

Expérience effectuée à Sainte-Foy-de-Peyrolière (Propriété d'Arolle), sur alluvions anciennes de la Garonne remaniées par l'Aiguebelle, et portant sur prairie lotier/ray-grass de 3 ans.

Le sol est argileux (20,4 p. 100 de colloïdes minéraux), présente une texture fine (0,2 p. 100 de cailloux et graviers et 2,9 de sable grossier) et une réaction légèrement acide (pH = 6,2) ; il est normalement pourvu en humus, extrêmement pauvre en acide phosphorique, pauvre en potasse (p. 1 000 de terre fine 1,26 d'azote, 0,006 de P_2O_5 assimilable et 0,08 de K^2O échangeable) et repose sur un sous-sol de même nature physique.

L'épandage en surface, le 26 février, de 20 t/ha de compost organique ou de fumures minérales apportant à l'hectare : 60 kg d'azote de l'ammonitrate, 90 kg d'acide phosphorique du superphosphate et 60 kg de potasse du chlorure, a été suivi d'un hersage.

La fumure organique contenait 2 fois plus d'azote, un peu plus d'acide phosphorique, 1 fois 1/2 plus de potasse que la fumure minérale, mais on peut admettre que le compost agit avant tout par la matière organique (30 p. 100) et par le calcaire (7 p. 100) qu'il apporte.

Les parcelles de 48 m² (12 m² × 4), répétées 4 fois, étaient réparties en 4 blocs formant 2 bandes contiguës de 12 mètres sur 40.

Le 21 mai, on a obtenu les résultats suivants :

	Foin récolté en tonnes/ha			
	en vert	I. C.	en sec	I. C
	—	—	—	—
Témoin sans engrais R.....	10,9 à 71,4 % d'humidité	100	3,12	100
Compost — C.....	14,9 à 75,6 % «	137	3,64	118
Témoin sans azote PK.....	22,7 à 79,3 % «	208	4,64	149
Fumure ternaire NPK.....	24,5 à 78,0 % «	225	5,39	173

Ainsi, en moins de trois mois la fumure minérale a fortement augmenté les rendements ; l'influence de la fumure organique a été moins forte mais cependant hautement significative (P = 0,01) ; la différence entre la fumure NPK et le témoin sans azote (1,8 t. en vert) n'est pas significative.

Alors qu'à la fin mai le fourrage commençait à se dessécher sur les parcelles ayant reçu du compost et surtout sur les parcelles témoins, la végétation était nettement plus verte en présence des fumures minérales ; aussi les indices de comparaison relatifs au foin sec sont-ils très inférieurs à ceux correspondant à la matière verte, ce qui ne modifie cependant en rien leur signification.

L'analyse des fourrages obtenus a donné les résultats suivants :

	Pour cent de matière sèche				
	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
Sans engrais	2,18	0,36	2,47	1,71	0,47
Fumure organique	2,16	0,38	2,86	1,63	0,42
Fumure minérale NPK	2,07	0,71	2,83	1,16	0,36

La fumure organique n'a donc que peu influencé la composition de la matière sèche. Quant à la fumure minérale elle a fortement enrichi cette dernière en acide phosphorique, légèrement en potasse ; elle l'a fortement appauvrie en chaux et en magnésie.

En raison surtout de la grande variation des taux d'acide phosphorique dans la matière sèche, l'alcalescence, qui était exactement moyenne dans le témoin (69 p. 100), devient très faible en présence de la fumure minérale (29 p. 100). Inversement et pour les mêmes raisons, le rapport P/Ca, dont on connaît l'importance, passe de 0,13 à 0,37 sous l'influence de l'engrais ; il est dans les deux cas très inférieur à l'optimum généralement admis (1,5 p. 100).

Fertilisation sur prairies permanentes fauchées en Auvergne et Forez. — D. COLLIER et L. GACHON (*Clermont-Ferrand*).

La grande étendue des prairies permanentes exploitées essentiellement par la fauche en Auvergne et Forez a conduit la station d'Agronomie de Clermont-Ferrand a établir un réseau d'essais de fertilisation sur prairie distribué dans les principales unités géographiques et de ce fait dans des milieux très différents.

Les essais ont été entrepris en 1952 sur 6 types de sols différents.

Les résultats ont paru dans ces *Annales*, nº 6, 1958.

Fumure des sols à houblon de Basse-Alsace. — R. MAROCKE (*Colmar*).

Les études portant sur les propriétés caractéristiques des divers sols à houblon, et sur la physiologie de cette plante, ont permis d'aboutir à

l'établissement de données susceptibles d'orienter la production houblonnière.

Amendements calciques. — Le problème du maintien de l'état calcique des sols se pose dans un certain nombre de cas : sols sableux acides, lehms, etc... ; la pratique du chaulage devra être étendue à tous les sols qui nécessitent un apport en amendements calciques, cette opération ne devant être toutefois effectuée que sous le contrôle d'un technicien.

Amendements humiques. — Les pertes d'humus sont particulièrement élevées dans les houblonnières.

Là où les apports en matières organiques sont insuffisants, il y a tendance à la dégradation de la couche arable.

La quantité minima à apporter est de 10 à 15 tonnes de fumier de ferme à l'hectare ; la pratique unilatérale du purinage est à proscrire. Toute la surface de la houblonnière devra être intéressée par les apports de fumier qui s'effectueront en début d'hiver et feront l'objet d'un enfouissage par labour.

Fumure minérale. — Les besoins de cette culture sont pour une densité de plantation de 3 300 plants à l'hectare :

N : 200 kg — P_2O_5 : 60 kg — K_2O : 170 kg — CaO : 300 kg.

Les doses utilisées sont généralement insuffisantes pour couvrir les besoins alimentaires du houblon, d'où un appel incessant aux réserves du sol, et épuisement de celles-ci. Ces fumures sont le plus souvent mal équilibrées.

Les sols riches à l'origine, tels les loess-lehm et les alluvions calcaires, sont assez bien pourvus en acide phosphorique; par contre la majorité des sols se révèle déficiente en potasse. Les mêmes observations s'appliquent aux sols sableux acides.

1° *Azote* :

a) 90 à 110 kg d'azote pur à l'ha pour les sols peu perméables (loess-lehms, lehms, alluvions rhénanes, etc.) à apporter en deux épandages, un premier, comportant environ les deux tiers à la reprise végétative, un second (tiers restant) quelques semaines avant la floraison.

b) 120 à 140 kg d'azote pur à l'ha pour les sols perméables (alluvions sableuses, etc.) ; on aura avantage à fractionner cette dose d'azote entre la reprise végétative et l'approche de la floraison.

Les ammonitrates paraissent convenir le mieux par suite de leur action rapide et soutenue (apport précoce), les nitrates de chaux ou de soude étant à utiliser pour les apports tardifs ou toutes les fois que l'on désire une action immédiate. Le sulfate d'ammoniaque et la cyanamide peuvent également être employés à la condition d'être utilisés correctement (époques d'épandages, etc.).

2° *Acide phosphorique* :

80 à 90 kg d'acide phosphorique pur à l'hectare : superphosphates pour les sols très légèrement acides, neutres ou alcalins, scories exclusivement sur sols acides. Il y a lieu d'insister sur les données précédentes, de nombreux cultivateurs utilisant les scories d'une manière inconsidérée (apports sur sols calcaires).

3° *Potasse* :

150 à 160 kg K_2O à l'hectare sous forme de chlorure ou de sulfate.

Les engrais phosphatés et potassiques pourront être apportés lors des travaux du sol effectués en début ou fin d'hiver (enfouissement par labour). L'épandage des engrais comme celui des amendements doit intéresser toute la surface de la houblonnière et non seulement les environs immédiats des plants.

Les chiffres indiqués pour P_2O_5 et K_2O couvrent les besoins d'une culture normale dans un sol normalement pourvu en éléments fertilisants. Ils devront être forcés dans les sols particulièrement pauvres.

Influence des engrais et du fumier sur la qualité des récoltes. — J. Guérillot et Mme J. Guérillot-Vinet (*Grignon*).

Premiers résultats sur l'influence des engrais et du fumier sur la qualité du blé et des betteraves récoltés sur les parcelles du champ d'expérience de Grignon. Dosage du manganèse, du fer et de la vitamine B_2 dans ces produits. Action sur des souris nourries avec ces aliments. Ce travail a été publiée dans les C. R. du Congrès International des Fertilisants à Heidelberg en 1957.

Expériences de longue durée de fumure de la vigne. — J. Liwerant et J. R. Marty (*Toulouse*).

Les dispositifs ont été indiqués précédemment (Travaux effectués par les Stations 1952, 53, 54, 55 et Ac. Agr. 1957).

Rappelons que les engrais phosphatés et potassiques sont apportés tous les 2 ans et localisés au milieu des interlignes. A Fronton, la fumure est incorporée simultanément dans tous les interlignes ; à Seilh, dans un interligne sur deux. Dans ce dernier cas, le même interligne ne reçoit une fumure phospho-potassique que tous les 4 ans. Les engrais azotés sont apportés annuellement au printemps en couverture. Les doses par hectare et par an ont été ramenées, en moyenne, à :

N — 50 kg P_2O_5 — 40 kg K_2O — 100 kg.

Les parcelles reçoivent soit une fumure complète NPK, soit une fumure carencée.

CONDITIONS CLIMATIQUES DE L'ANNÉE. Dans l'ensemble très défavorables :

	Pluies 1957	Ecarts sur la normale
Avril	114,4	+ 36,8
Mai	121,3	+ 45,6
Juin	201,7	+ 131,8
Juillet	31,9	— 12,1
Août	73,6	+ 24,6
Septembre	56,1	— 2,1

La pluviosité élevée d'avril et de mai, suivie des pluies interminables du mois de juin (201,8 mm), a entraîné une forte coulure à Fronton (cépage S. 7 053), un peu moins prononcée à Seilh (cépage Milgranet). Malgré les traitements, le mildiou de la grappe a occasionné des dégâts importants à Fronton, mais beaucoup plus graves encore à Seilh.

Les pluies fréquentes, et surtout la faible insolation, du mois d'août n'ont pas permis une maturation normale des raisins. Au moment des vendanges (27 septembre à Fronton, 2 octobre à Seilh) à côté des raisins mûrs, d'autres étaient encore au stade de la véraison. A Fronton, 10 à 15 p. 100 de raisins trop verts n'ont pas été récoltés.

Le tableau I donne le rendement en raisins en 1957 comparativement au rendement moyen 1952-55, ainsi que les caractéristiques des moûts de 1957.

RENDEMENT EN RAISINS. — Rendement le plus faible enregistré depuis le début de l'expérience (1950). Il varie, pour les trois vignes, de 38,4 à 46,5 p. 100 par rapport au rendement moyen annuel 1952-55.

La production du bassin de la Garonne n'a pas, en 1957, dépassé 36 p. 100 de la normale (au lieu de 54 p. 100 pour l'ensemble du pays). La production des vignes d'expériences peut donc être considérée comme assez satisfaisante.

RICHESSE SACCHARINE. — La teneur moyenne en sucre des moûts de Fronton est de 170 g/litre. ; elle a été, en 1957, de 176 à 183 g /litre. A Seilh, par contre, la teneur en sucre du moût a été plus faible : 172 au lieu de 185 g/litre, en moyenne.

ACIDITÉ. — En année normale, l'acidité totale des moûts varie entre 5,5 et 6 g/litre. En 1957, elle était très élevée à Fronton : 8 g/litre, légèrement au-dessus de la normale, à Seilh : 6,4 g/litre.

TABLEAU I

Comparaison rendement 1957 *et rendement moyen* 1952-55.

Fumure appliquée	1956	1957
N + K + 100 kg P_2O_5	84,08 ± 3,76	90,7 ± 3,3
N + K + 160 kg P_2O_5	83,23 ± 3,76	95,3 ± 3,3
	Avec d $\geqslant$ 1,68	Avec d $\geqslant$ 15,26

Fumure (1)	Rendement moyen 1952-55 qx/ha	Rendement 1957			
		Raisins qx/ha	P. 100 du rendement 1952-55	Sucre g/litre	Acidité g/litre
Fronton-Coupay					
T	115	57,2	49,7	176	7,9
NK	126	63,3	50,2	172	8,1
Série super :					
NPK	148	68,0	45,9	176	8,3
NP	129	54,0	41,9	177	8,5
PK	125	72,1	57,7	173	7,9
Série scories :					
NPK	143	62,6	43,8	179	7,9
NP	129	54,5	42,2	176	7,9
PK	131	53,5	40,8	182	8,0
Moyennes	131	60,6	46,5	176	8,1
Fronton-Mattes					
N	152	58,2	38,3	183	7,9
NPK (1)	156	59,5	38,1	185	7,6
NPK (2)	156	66,5	42,6	183	7,5
NP (2)	141	63,7	45,2	181	7,8
PK (2)	161	65,2	40,5	182	7,5
Moyennes	153	62,6	41,1	183	7,7
Seilh					
N	70	30,6	43,7	167	6,3
NP (1)	90	42,2	46,9	173	6,4
NPK (1)	95	37,2	39,2	172	6,7
NP (2)	92	30,9	33,6	172	6,3
NPK (2)	91	28,4	31,2	176	6,2
NK (2)	84	30,2	36,0	174	6,3
Moyennes	87	33,3	38,4	172	6,4

(2) La fumure phospho-potassique apportée dans la dérayure (1) ou dans un sillon ouvert au fond de la dérayure (2).

INFLUENCE DE LA FUMURE. — Les effets extrêmement défavorables des conditions climatiques, et surtout ceux du mildiou, plus graves et localisés en des points divers de la vigne, rendent aléatoire toute conclusion concernant la fumure.

DIAGNOSTIC FOLIAIRE. — Le diagnostic foliaire annuel, comporte l'analyse de 4 échantillons de feuilles prélevées à des époques déterminées du cycle végétatif. On admet que les moyennes de ces quatre prélèvements représentent l'alimentation annuelle dont l'optimum correspondrait aux normes suivantes, pour 100 g de matière sèche :

Azote — 2,50, P_2O_5 — 0,50, K_2O — 1,75 ;

Alimentation globale S = 4,75.

On a déjà signalé qu'en 1954 et 1955, années de bonne productivité, l'alimentation globale des vignes d'expériences ne dépassait pas 4. La différence avec l'optimum théorique portait surtout sur la potasse, dont une teneur moyenne de 1 à 1,2 p. 100 semblait être satisfaisante.

En 1957, le premier prélèvement des feuilles n'ayant pu être effectué

au moment opportun, nous avons essayé d'évaluer l'état de l'alimentation de la vigne d'après l'analyse d'un seul prélèvement, notamment le quatrième (vendanges). On a observé que c'est à l'époque de la maturation que les effets d'une fumure ou d'une carence alimentaire se reflètent dans les feuilles avec le plus de netteté. On indique comme optimum du quatrième prélèvement les teneurs suivantes, p. 100 de matière sèche :

Azote — 1,80, P_2O_5 — 0,35, K_2O — 1,50 ;
Alimentation globale S = 3,65.

Le tableau II donne comparativement les résultats de l'analyse des feuilles du 4e prélèvement de 1955, année de bonne productivité, et de 1957, année de très faible récolte.

TABLEAU II

Composition des feuilles au moment des vendanges p. 100 de matière sèche.

Fumure	N		P_2O_5		K_2O		S	
	1955	1957	1955	1957	1955	1957	1955	1957
Fronton-Coupay. Rendement moyen qx ha : 1955-125,3 ; 1957-60,6								
T	1,70	1,80	0,32	0,34	0,34	0,51	2,36	2,65
NK	1,59	1,91	0,25	0,30	0,96	1,39	2,80	3,50
Série super :								
NPK	1,56	1,77	0,28	0,37	0,77	1,42	2,61	3,56
NP	1,78	1,72	0,32	0,38	0,76	0,97	2,86	3,07
PK	1,42	1,61	0,34	0,39	0,85	1,07	2,61	3,07
Série scories :								
NPK	1,67	1,65	0,26	0,32	0,62	1,11	2,54	3,08
NP	1,69	1,77	0,30	0,35	0,25	0,59	2,24	2,71
PK	1,61	1,67	0,28	0,33	0,60	1,37	2,49	3,37
Fronton-Mattes. Rendement moyen qx ha : 1955-155,5 ; 1957-62,6								
N	1,64	1,45	0,22	0,22	0,54	1,07	2,40	2,74
NPK (1)	1,76	1,37	0,24	0,22	0,81	1,58	2,81	3,17
NPK (2)	1,89	1,45	0,24	0,24	1,15	1,52	2,28	3,21
NP (2)	1,88	1,48	0,25	0,25	0,44	0,69	2,57	2,42
NK (2)	2,05	1,62	0,24	0,24	0,97	1,65	3,26	3,51
Seilh. Rendement moyen qx ha : 1955-97,2 ; 1957-33,3								
N	1,87	1,67	0,26	0,27	0,11	0,66	2,24	2,60
NP (1)	1,70	1,58	0,25	0,28	0,13	0,51	2,08	2,37
NPK (1)	1,69	1,73	0,24	0,27	0,43	0,99	2,36	2,99
NP (2)	1,68	1,56	0,23	0,31	0,29	0,76	2,20	2,63
NPK (2)	1,74	1,77	0,26	0,33	0,29	1,33	2,29	3,43
NK (2)	1,73	1,59	0,23	0,23	0,48	1,02	2,44	2,84

En 1955, année de bonne récolte, l'alimentation globale à l'époque des vendanges était assez éloignée de l'optimum théorique 3,65 p. 100 ; elle n'était supérieur à 3,0 que dans un cas sur 19. C'est en 1957 que l'alimentation globale s'est rapprochée de l'optimum. Cette amélioration de l'alimentation n'est probablement qu'apparente, car elle résulte plutôt d'une mauvaise utilisation des matières nutritives des feuilles par

la récolte fortement réduite, que d'une meilleure absorption par les racines des éléments fertilisants du sol.

Ceci fait ressortir combien est délicate l'interprétation des résultats du diagnostic foliaire de la vigne, lorsqu'il s'agit de formuler des conseils de fumure. De nombreux facteurs constants, tels que : cépage, porte-greffe, nature du sol, exposition, climat local, etc, influencent la composition de la feuille. Les accidents ou maladies qui affectent l'importance de la récolte dans l'année du diagnostic exercent, de leur côté, des effets plus ou moins marqués dont il faut tenir compte et qui compliquent le problème.

Fumure azotée et potassique de la pomme de terre à fécule. — G. Lefèvre et G. Hiroux (*Amiens*).

Sol : Cet essai a été entrepris sur sol de limon type, bien pourvu en matière organique, pauvre en potasse et acide phosphorique.

Dispositif expérimental : Les apports d'éléments fertilisants ont été les suivants :

N_0 = 0
N_1 = 60 kg/ha d'azote de l'ammonitrate.
N_2 = 120 kg/ha d'azote de l'ammonitrate.
P_2O_5 = 150 kg/ha du bicalcique.
K_0 = 0
K_1 = 100 kg/ha soit du chlorure soit du sulfate de potasse.
K_2 = 200 kg/ha soit du chlorure soit du sulfate de potasse.
K_3 = 300 kg/ha soit du chlorure soit du sulfate de potasse.

CONCLUSIONS TIRÉES DES RENDEMENTS

Les résultats de 1957 ont montré que :

1° Le maximum de rendement parcellaire a été obtenu par le traitement N_2-K_3 sulfate, traitement pour lequel le nombre de pieds récoltés était également le plus élevé. Ce second fait doit être signalé car après être sorties de terre les jeunes pousses ont été gelées et le départ de végétation a pu être, de ce fait, plus ou moins retardé suivant les traitements.

2° L'analyse statistique faite sur les poids de 100 pieds donne, comme différence significative, à 0,05, 24, 2 kg. C'est-à-dire qu'avec ces normes assez exigeantes, seuls les traitements :

N_2K_2 chlorure et sulfate (116),
K_3 chlorure N_1 et N_2 (114),
K_3 sulfate N_2 (114),

sont significativement supérieurs aux traitements :

K_0 { N_2 89 et K_1 sulfate N_0 78,
N_0 88,
N_1 84.

Les autres différences ne sont pas significatives à 95 p. 100.

3° Il y a une tendance générale positive de l'action de l'azote et de la potasse.

4° A l'intérieur de chaque traitement potassique le rendement décroit lorsque la fumure azotée diminue.

5° Les rendements obtenus par les parcelles sans potasse confirment la pauvreté du sol en cet élément, mais les différences entre les traitements K_2 et K_3 ne sont pas très prononcées.

Conclusions tirées de l'analyse des récoltes

1. En ce qui concerne la densité.

La densité des tubercules avait été prise au préalable, en mesurant le poids du volume d'eau déplacé par un poids donné de pommes de terre. Les chiffres moyens notés ci-dessous n'ont pu être rapprochés d'aucune autre donnée fournie par l'analyse (teneur en extractif non azoté — teneur en matière sèche en particulier). La mesure de la densité n'aurait donc pu servir à caractériser la richesse des tubercules.

Densités des tubercules suivant le traitement.

	K_0	K_1Cl	K_1S	K_2Cl	K_2S	K_3Cl	K_3S
	—	—	—	—	—	—	—
N_0	1,122	1,098	1,109	1,097	1,103	1,097	1,085
N_1	1,114	1,101	1,112	1.117	1,115	1,099	1,106
N_2	1,105	1,110	1,116	1,112	1,111	1,112	1,094

2. En ce qui concerne l'amidon.

a) Une tendance de diminution de la richesse absolue à mesure que la fumure azotée augmente.

b) L'influence des traitements potassiques n'est pas évidente.

c) Si l'on regarde la production hectare, cette influence générale de l'azote disparaît.

d) Au contraire à l'intérieur des traitements potassiques, l'augmentation des rendements due à la fumure azotée, fait que le maximum est obtenu par les parcelles N_2 suivies des parcelles N_1 puis N_0 sauf pour les traitements K_3Cl.

e) Il y a tendance à une augmentation du rendement Ha en amidon avec la fumure potassique. Il n'y a par contre pas de différences sensibles entre les traitements sulfate et chlorure.

3) En ce qui concerne la richesse minérale des tubercules.

a) *Azote.*

La richesse des tubercules croît avec les doses d'azote apportées et diminue très largement à mesure que les doses de potasse augmentent.

L'exportation va de 93 à 142 kg suivant les traitements.

Il apparaît donc que la fumure azotée doit être largement augmentée pour suivre les fumures potassiques.

b) *Potasse.*

Il est évident que la richesse du tubercule augmente avec la fumure potassique. A la récolte les fumures au chlorure sont toujours un peu supérieures aux fumures au sulfate.

L'exportation minimum de 120 kg pour les parcelles sans potasse s'élève jusqu'à 200 kg pour les traitements les plus forts.

II. — FUMURE AZOTÉE

Essai d'azote sur blé à l'automne. — J. HÉBERT (*Laon*).

En général, les derniers blés donnent des rendements nettement inférieurs aux autres, ce qui, dans l'Aisne, est particulièrement sensible sur les derniers blés de betterave. Une raison pourrait en être une faible quantité d'azote minéral disponible à cette époque. Pour reconnaître si un apport d'azote était capable d'augmenter la végétation du blé et lui permettre de rattraper en partie son retard, on a organisé l'essai suivant ; à Crépy-en-Laonnois (Aisne) :

Un blé Capelle a été semé le 10 décembre 1956, derrière betterave sucrière, les verts étant enfouis, en terre argilo-sableuse, à la densité de 220 kg à l'hectare. Le semis fut très irrégulier, en terre plastique, très difficile.

Les parcelles étaient de 25 × 2 mètres, répétées 4 fois. Les traitements sont les suivants :

A : Sans azote.
B : Urée.
C : Sulfate d'Ammoniaque 20 kg d'azote à l'hectare le 13 décembre.
D : Nitrate de chaux :
E : Sans azote.

En mars, on a apporté uniformément 60 kg d'azote à l'hectare. Rendement moyen 39,5 quintaux.

Aucune différence n'est apparue entre les parcelles au cours de la végétation. A la récolte, les résultats ont été très voisins dans toutes les parcelles, tant pour le grain que pour la paille et le poids spécifique.

L'azote apporté à l'automne n'a donc pas été utilisé par le blé au

début de l'hiver, bien que celui-ci fût très doux jusqu'au début de février, date à laquelle de fortes pluies survinrent.

D'autre part l'absence de différences entre les parcelles à azote et celles sans azote, malgré une fumure azotée volontairement réduite en mars, montre que les différentes formes d'azote ont été également perdues par le drainage de février.

Il a cependant été souvent remarqué, en culture, des effets nets de l'azote d'automne. Mais cet effet, lorsqu'il s'exerce, semble avoir lieu aussi bien pour les blés semés en bonnes conditions que pour les autres, ce qui ferait penser à une action de cet azote non à l'automne, mais au printemps, donc une conservation de cet azote dans le sol au cours de l'hiver.

Les mauvais rendements des blés semés en mauvaise condition sembleraient attribuables à des facteurs autres que l'azote, peut-être mauvaise structure du sol, irrégularité du semis, ou conditions de température et d'éclairement défavorables.

Essais d'utilisation de l'urée et de l'urée formaldéhyde en couverture sur blé d'hiver. — E. JOLIVET (*Quimper*).

I. — DISPOSITIF.

Deux essais ont été réalisés, dans le but de rechercher si l'épandage en couverture au printemps, d'engrais azotés organiques type urée et urée formaldéhyde (azorgan), peut alimenter convenablement le blé d'hiver en azote semi-tardif et tardif.

a) SOLS. — 1er *essai* :

Terrain sablo-humifère, enrichi en P_2O_5 et K_2O, cédant peu d'Azote à la plante au cours de la végétation.

1er *essai. Parcelles de* 25 m^2. 4 *répétitions.*

Traitements	28 février 1957	28 mars 1957	30 avril 1957
1.....	60 unités nitrate de chaux 15,5 %	néant	60 unités sulfate d'ammoniaque 21 %
2.....	— id —	néant	60 unités urée 46 %
3.....	30 unités nitrate de chaux 15,5 %	90 unités urée 46 %	néant
4.....	120 unités urée 46 %	néant	néant
5.....	60 unités nitrate de chaux 15,5 %	néant	60 unités Azorgan 39 %
6.....	30 unités nitrate de chaux 15,5 %	90 unités Azorgan 39 %	néant

2e *essai* :

Terrain de pH 6 convenablement entretenu en éléments phosphopotassiques.

2e Essai. Parcelles de 25 m². 4e répétition.

Traitement	5 mars 1957	29 aril 1957
1	46,5 unités (nitrate de chaux)	40 unités ammonitrate
2	23 unités (nitrate de chaux) 63,5 unités (urée)	néant
3	23 unités (nitrate de chaux) 63,5 unités (azorgan)	néant
4	23 unités (nitrate de chaux) 127 unités (azorgan)	néant
5	23 unités (nitrate de chaux) 190 unités (azorgan)	néant

b) VARIÉTÉ : Cappelle.

c) FUMURE DE FOND : 600 kg de scories et 200 kg de chlorure de Potassium.

d) TRAITEMENTS.

e) RÉCOLTE. 2e quinzaine de juillet.

II. — RÉSULTATS.

	1er essai		2eme essai	
Traitements	Grains qx/ha	Paille qx/ha	Grains qx/ha	Paille qx/ha
1	32,3	98,9	48,0	86,0
2	34,7	95,1	41,5	93,0
3	30,9	103,6	34,0	72,5
4	29,1	106,9	37,5	75,5
5	26,7	96,2	44,0	78,5
6	18,2	80,2		

III. — CONCLUSIONS

1° Il est possible d'utiliser l'urée comme engrais azoté de couverture sur blé d'hiver sous climat atlantique. Il semble que sur variétés exigeantes en azote de tallage, comme Cappelle, les meilleurs résultats devraient être obtenus par son apport à la montaison. D'autres essais sont encore nécessaires pour conclure définitivement.

2° Le composé à base d'urée formaldéhyde, type Azorgan, répandu en couverture au printemps sur blé d'hiver, est incapable d'alimenter convenablement la plante en azote semi-tardif et tardif. Son pourcentage de minéralisation est trop faible, et, même à des doses excessivement élevées, son action reste inférieure aux engrais azotés classiques immédiatement assimilables.

Influence d'un apport d'azote avant la floraison sur l'alimentation du maïs. — J. DELMAS, J. BATS (*Pont-de-la-Maye*).

Un apport de 80 kg d'azote du nitrate de soude du Chili effectué avant la floraison, sur une parcelle expérimentale ayant reçu une

fumure annuelle sans azote en 1955 et 1956, a permis l'obtention d'un rendement en 1957 de 57,3 q contre 12 q sur les témoins conduits cette année encore sans apport d'azote.

L'analyse foliaire (tiers central du limbe) effectuée à 3 périodes de l'année (10 juillet — 9 août (floraison) — 10 septembre (maturation) a conduit aux observations suivantes quant à l'absorption des différents éléments minéraux.

Les courbes des taux des différents éléments dosés dans la feuille au cours du temps sont profondément différentes :

Éléments	Jusqu'à la floraison		de la floraison à la maturation	
	Sans N.	Avec N.	Sans N.	Avec N.
N	chute	élévation	remontée	chute très forte
P	légère chute	élévation	élévation	chute très forte
K	chute	chute	chute	chute moins prononcée
Na	élévation	élévation	élévation	chute
Ca	chute	élévation	élévation	l'élévation se poursuit
Mg	chute prononcée	chute	forte élévation	chute
Fe	chute prononcée	maintien	forte élévation	chute
Mn	chute	élévation	élévation	l'élévation se poursuit

En conclusion l'apport d'azote du nitrate de Soude conduisant à une exportation importante de grains, a modifié complètement l'allure des courbes d'absorption de tous les éléments.

C'est ainsi que l'accumulation de la floraison à la maturation de N, P, Na, Mg, Fe dans les feuilles des maïs témoins, a fait place à une baisse brutale des taux de ces éléments dans les feuilles du maïs traité.

Le taux de K est seul peu affecté.

Enfin, le Mn et le Fe présentent des courbes inverses.

Il faut noter que l'apport de N et Na s'est traduit par une élévation considérable du taux de ces éléments dans la feuille.

Le tableau ci-dessous précise les taux des différents éléments dans les cas considérés.

P. mille de matière sèche	10 Juillet		9 Août		10 Septembre	
	Sans N	N	Sans N	N	Sans N	N
N	26,9	28,25	17,0	*39,0*	23,6	23,7
P	2,7	3,15	2,45	3,65	3,65	2,15
K	36,9	35,0	22,15	22,0	15,0	18,9
Na	0,33	0,26	0,66	*1,10*	1,01	0,73
Ca	8,0	6,2	5,3	7,05	6,5	7,9
Mg	4,65	4,20	3,75	3,30	*5,85*	2,50
Fe	0,420	0,300	0,170	0,290	*0,700*	0,125
Mn	0,120	0,095	0,080	0,120	0,115	0,145

La fumure azotée échelonnée semi-tardive et tardive du Blé. — P. BOISCHOT (*Versailles*). Congrès International des Engrais. Heidelberg 1957.

Rappel des principes théoriques et de la pratique de la fumure échelonnée du blé préconisés par Coïc et résultats obtenus en France.

Essais de fumure azotée sur betterave sucrière. — G. LEFÈVRE et G. HIROUX (*Amiens*).

Le tableau I donne le plan d'application des engrais.

Le tableau II indique les résultats obtenus.

L'on peut en conclure ce qui suit :

a) En ce qui concerne les dates d'apport :

Les apports d'hiver et de printemps ont donné des résultats comparables pour le sulfate d'ammoniaque et l'ammonitrate. L'urée aurait vraisemblablement intérêt à être apportée au printemps.

b) En ce qui concerne les formes d'azote :

Le traitement à la cyanamide est à déconseiller.

Pour les apports faits au semis, les résultats sont comparables.

Pour les traitements d'hiver complétés avant le semis, le sulfate d'ammoniaque puis l'ammonitrate seraient à préférer à l'urée.

c) Pour l'ensemble forme-époque.

En dehors des comparaisons précédentes, le sulfate d'ammoniaque fourni en partie à l'hiver semble supérieur à l'ammonitrate fourni entièrement au semis.

TABLEAU I

Plan de Fumure.

Forme	A	B	C	D	E	F	G	H	I
		Urée	Sulfate d'ammoniaque	Amonitrate	Amonitrate	Urée	Sulfate d'ammoniaque	Amonitrate	Cyanamide
11-12-56 Hiver.....	0	0	0	0	0	50	50	50	50
22-3-57 Semis.....	0	150	150	150	120	100	100	100	150
21-6-57 Démariage.....	0	0	0	0	30	0	0	0	0

TABLEAU II

Résultats à la récolte — 23-25-10-57.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Nombre de pieds/ha....	57,900	63,700	59,600	58,600	62,700	56,400	62,700	58,400	59,000
Poids/ha.....	40,3	46,7	46,3	45,4	47,2	44,4	47,0	46,6	41,6
	± 1,6	± 1,1	± 1,1	± 1,9	± 1,4	± 1,4	± 1,4	± 0,6	± 0,6
Densités.....	9,03	8,58	8,91	8,69	9,03	8,65	8,75	8,75	9,05

Fumure azotée du maïs-grain en Beauce. — L. DEPARDON et P. BURON (*Blois*).

SOL : limon argileux — composition pour mille : 1,30 d'azote, 0,16 de P_2O_5 assimilable, 0,22 de K_2O échangeable, pH=7.

PLUVIOMÉTRIE : Du 3 mai (semis) au 10 novembre (récolte) écart avec la normale + 73 mm dû à la forte pluviosité des mois de juin, juillet et septembre, contrastant avec le caractère sec d'octobre (— 54 mm) ce qui fut, au total, favorable au maïs, malgré un mauvais développement initial imputable à la basse température de mai (— 2°,3).

VARIÉTÉS : W-240.

PRÉCÉDENT CULTURAL : blé.

FUMURE PAR ha :

N à doses variables et à 2 dates.

P_2O_5 : 80 kg de superphosphate, K_2O : 100 kg de chlorure le 2 avril avant un labour.

NOMBRE DE RÉPÉTITIONS : 5.

RÉSULTATS : (26 600 pieds par ha).

N par ha	Rendement en grains à 15 % d'eau par ha	Erreur probable pour cent	Indices de comparaison (grains)	Poids spécifique
0 Témoin	35 qx 63	± 1,4	100	74,8
60 kg Ammonitrate le 29/5	37 qx 23	± 1,5	104,5	75,2
80 kg Ammonitrate le 29/5	39 qx 62	± 1,7	111,2	75
80 kg (50 kg nitrate de Ca le 29/5) (30 kg nitrate de Ca le 12/7)	39 qx 36	± 1,6	110'4	75,8
80 kg (50 kg ammonitrate le 29/5) (30 kg ammonitrate le 12/7)	40 qx 42	± 2	113,4	75,2
100 kg (ammonitrate le 29/5)	40 qx 69	± 1,2	114,2	75,8

L'action de l'azote n'a pas été très marquée cette année, sans doute en raison de la pluviosité très satisfaisante qui a caractérisé toute la période de son développement, laquelle a dû favoriser la minéralisation des réserves organiques du sol.

Les différences de rendement sont significatives entre les parcelles ayant reçu la dose de 60 kg d'azote et celles ayant reçu 80 et 100 kg, alors qu'elles ne le sont pas entre les parcelles sur lesquelles il en a été appliqué 80 et 100 kg.

Cela confirme, une fois de plus, que la dose optimum d'azote minéral, en l'absence de fumier, est voisine de 80 kg par hectare, dans un limon de Beauce.

Le poids spécifique a été sensiblement amélioré et le grain a été notablement enrichi, en matières protéiques, sa teneur en azote, pour cent de matière sèche, passant de 1,47 chez le témoin à 1,83 pour la dose de 80 kg, pour atteindre 2,07 pour la dose de 100 kg.

Fumure azotée du Riz. — Mme F. HUGUET (*Avignon*).

Essais concernant :

1° Modalités d'application de l'azote.

2° Fumure azotée tardive du riz.

1) Modalités d'application de l'azote.

a) Passage des disques, mise en eau, repiquage.

b) Passage des disques et de la planche, mise en eau, travail avec les roues cages, repiquage. (Cette dernière technique étant la plus répandue actuellement).

Le laps de temps qui s'écoule entre la dernière façon en sol sec et le repiquage, peut varier de 1 mois à 8 jours, le passage des roues cages se faisant en général de 6 à 3 jours avant le repiquage.

L'auteur a mis en comparaison depuis 1955 les trois processus suivants :

a) épandage de l'azote dans le sol sec avant repiquage à l'occasion d'un léger disquage ;

b) épandage de l'azote dans la boue avant repiquage ;

c) épandage de l'azote dans la boue après repiquage.

a) ESSAIS AU DOMAINE DE LA REYRANGLADE.

Sol : *Limon argileux* (*pH*-8, 1).

Dispositif expérimental.

Ce sol bien pourvu en azote et matières organiques a reçu 100 kg d'azote à l'hectare sous forme d'urée, en présence d'une fumure de fond phosphopotassique (110 kg P_2O_5 et 70 kg K_2O à l'hectare), selon les modalités précédemment indiquées. Trois blocs de 3 parcelles.

Variété : Balilla repiqué le 25 juin.

Rendements.

Modalité d'épandage de l'urée	Rendement hectare en quintaux de grains à 13 % d'humidité	Indice de comparaison
Azote mis le 17/6 en sol sec avant repiquage.....	66,1 ± 0,7	100
Azote mis le 24/6 dans la boue avant repiquage.....	53 ± 0.7	80
Azote mis le 10/7 dans la boue après repiquage.....	54,4 ± 0,7 Avec d ⩾ 2,8 Qx	82

CONCLUSION.

Les parcelles ayant reçu l'engrais azoté en sol sec, présentent une végétation plus dense que les autres traitements, et fournissent un excédent de récolte de 20 p. 100 environ, grâce à un tallage amélioré. L'apport

dans la boue avant repiquage n'offre pas de différence significative par rapport à celui effectué après repiquage.

b) ESSAI A PIOLENC.

Sol : Alluvions argileuses des bords du Rhône.

Dispositif expérimental et rendement :

Modalité d'épandage de l'urée	Rendement hectare en quintaux de grains à 13 % d'humidité (moyenne de 4 répétitions)	Indice de comparaison
80 kg d'azote en sol sec avant sepiquage (27/5/57)	60,63 ± 2,0	100
80 kg d'azote en sol boueux 8 jours après repiquage (10/6/57)....	47,10 ± 2,0	77
110 kg d'azote en sol boueux 8 jours après repiquage (10/6/57).....	49,03 ± 2,0 Avec d ⩾ 8,40	80

CONCLUSION.

C'est la technique de l'apport en sol sec qui s'est révélée comme la meilleure. Dans le cas envisagé, 110 kg d'azote /hectare employés dans la boue, ne permettent pas l'obtention d'un rendement équivalent à 80 kg d'azote mis en sol sec.

2) **Fumure tardive du riz.**

a) ESSAI AU DOMAINE DU VEDEAU.

Dispositif expérimental. On a comparé l'emploi de 140 kg d'azote en sol sec avant repiquage, avec l'apport d'engrais effectué en 2 fois, tel qu'il se pratique souvent, c'est-à-dire 100 kg d'azote avant repiquage en sol sec et 40 kg 12 jours après le repiquage.

b) ESSAI AU DOMAINE DU PETIT AGENCE.

Sol : Sableux reposant sur limon argileux.

Dispositif expérimental : La date de l'apport de l'urée a été variable et fixée de la façon suivante :

1° Au début de la reprise, soit 20 jours après repiquage.

2° Au début de la montaison, soit 40 jours après repiquage.

Variété : R. B. repiquée le 9 juin.

Rendement en quintaux de grains à 13 p. 100 d'humidité

160 kg d'Azote en sol sec 5/6/57	80 kg d'azote à sec le 5/6/57 + 80 kg le 28/6/57	80 kg d'Azote à sec le 5/6/57 + 80 kg le 20/7/57
47,75 ± 1,50	39,88 ± 1,50	43,57 ± 1,50
	Avec d ⩾ 4,98	
Indice de comparaison : 100	83	91

CONCLUSION. — Cet essai confirme les observations déjà décrites précédemment concernant la meilleure efficacité de l'azote en sol sec ; d'autre part, il met en évidence un fait nouveau : pour une même dose d'azote de 80 kg, appliquée en fumure de fond avant repiquage, la date de l'apport tardif de 80 kg semble avoir une influence non négligeable sur le rendement. On se trouve dans ce cas à la limite de la signification de la plus-value obtenue ; l'apport début montaison a fourni un meilleur rendement.

3) **Conclusions générales sur la fumure azotée du Riz.**

Les essais effectués au cours de la dernière campagne rizicole, amènent à confirmer les résultats obtenus depuis 1955 à savoir qu'une même dose d'azote mise en sol sec *immédiatement* avant la mise en eau a une efficacité supérieure à celle de l'engrais mis dans l'eau, ou la boue, avant ou après repiquage.

Cette technique qui conduit en fait à une économie de l'engrais azoté perd une partie de ses avantages quand on distribue l'azote quinze jours à un mois avant la mise en eau. Dans ce cas alors, on se verra contraint de faire un apport supplémentaire conséquent d'engrais après le repiquage.

La fumure « azotée tardive », telle qu'elle était en général envisagée jusqu'à présent, c'est-à-dire à la reprise des plants, ne fournit pas toujours des résultats satisfaisants de rentabilité. Dans la mesure où 80 à 130 kg mis en sol sec sont capables de donner au tallage son maximum d'amplitude, on ne recherchera plus par l'apport tardif d'engrais, une action sur le tallage (ce qui pourrait prolonger dangereusement la végétation), mais on agira plutôt sur le poids des épis. Il est nécessaire de préciser davantage le stade physiologique où se fera l'application « tardive », pour chaque variété en fonction des dates de repiquage des plants. A priori, il semble bien qu'avec les variétés actuellement cultivées, seuls les riz mis en place avant le 15 juin, seront susceptibles de bénéficier de façon intéressante de cette technique, sans courir de risque.

Effets comparés de l'azote sous diverses formes sur betterave 1/2 sucrière en Beauce. — L. DEPARDON et P. BURON (*Blois*).

SOL : limon argileux (23 p. 100 d'argile) renfermant pour mille : 1,30 d'azote, 0,16 de P_2O_5 assimilable, 0,22 de K_2O échangeable, de pH 7.

PLUVIOMÉTRIE : Du 29 avril (semis) au 17 octobre (récolte) écart avec la normale + 89 mm, les pluies de l'été ayant toujours été très favorables au développement de la betterave.

VARIÉTÉS : Blanche 1/2 sucrière à collet vert.

PRÉCÉDENT CULTURAL : maïs-grain.

FUMURE PAR HECTARE : (exclusivement minérale) :

N : 150 kg.

P_2O_5 : 100 kg du superphosphate et K_2O : 150 kg du chlorure et enfouis de 1/4 par un 2e labour.

Nombre de répétitions : 5.

Résultats : (33 000 betteraves par ha).

N apporté par ha		Rendement en tonnes par ha	Erreur probable pour cent	Indices de comparaison	Excédent de racines par kg d'N apporté
0	Témoin	61,90	± 2,2	100	
	150 kg 15 jours avant le semis				
	ammonitrate	87,44	± 1,8	141,3	170 kg
	sulfate d'NH_4	88,02	± 3/7	142,2	174
	urée	90,04	± 2,3	145,4	187,6
150 kg	50 kg le 5/2 + 100 kg le 3/5				
	ammonitrate	90,87	± 1,1	146,8	193,1
	sulfate d'NH_4	90,80	± 3	146,7	192,6
	urée	91,03	± 2,1	147,1	194,2

L'examen de ces résultats met en évidence les remarquables effets de l'azote minéral, favorisés par une pluviosité très satisfaisante de mai à septembre inclusivement, le coefficient d'efficacité oscillant entre 170 et 194 kg de racines.

Toutefois, relativement aux dates d'application, si les différences de rendement sont très nettement significatives, en ce qui concerne l'ammonitrate, un peu moins avec le sulfate d'ammoniaque, elles ne le sont pas du tout avec l'urée.

A cet égard, il y a lieu de signaler que l'entraînement en profondeur de l'urée et de l'azote nitrique de l'ammonitrate épandus le 5-2 a dû avoir lieu, en raison d'une forte pluie survenue le 8 février (29 mm) et de la pluviosité anormalement élevée de ce mois (124 mm).

S'il est donc nécessaire de confirmer l'intérêt, dans des sols à fort pouvoir absorbant, de l'apport d'une fraction de l'azote quelques mois avant le semis de la betterave, par contre, il semble que l'on puisse dès maintenant considérer l'urée comme équivalente, à dose égale d'élément pur, aux autres engrais azotés.

La fumure azotée des productions fourragères. — L. GACHON (*Clermont-Ferrand*).

L'auteur dans une conférence aux Directeurs des Services Agricoles publiée dans le Bull. de l'Ass. Franc. pour l'étude du sol. Février 1958, p. 58 a fixé les principes de la fumure azotée des productions fourragères.

Essai de fertilisation azotée sur pommes de terre. — P. GOUNY et Mme S. MÉRIAUX (*Dijon*).

CONDITIONS EXPÉRIMENTALES.

VARIÉTÉ : Bintje.

NATURE DU SOL : sol brun de la Plaine de la Saône utilisé depuis de nombreuses années pour la grande culture.

Composition physique (pour cent)			Composition chimique		
	sol	sous-sol		sol	sous-sol
Inférieur à 2 μ.....	42	45	Azote (pour mille) ..	1,90 ± 0,12	1,40 ± 0,15
2 — 20 μ	32	30	pH.....	6,9	7,0
20 — 50 μ	19	18	P_2O_5 Morgan-Barbier (mg/kg)	3	2
50 — 200.....	5	5			
200 — 2000.....	2	2	K_2O Morgan (mg/kg).	27	21

ANTÉCÉDENT : orge.

APPORT DE FUMIER : néant.

FUMURE PHOSPHOPOTASSIQUE : 120-150 kg.

DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL.

4 répétitions (blocs de Fischer).

5 traitements apportant de 0 à 150 kg d'azote minéral sous forme mi-nitrique, mi-ammoniacale en couverture lors du semis (0-60-90-120-150 kg N/ha).

HISTORIQUE CULTURAL.

Plantation : 10 avril.

Récolte : 3 septembre.

En cours de végétation, on observait des différences marquées dans le comportement de la végétation. Les variations de coloration étaient particulièrement sensibles :

Témoin : jaune-vert.

60 kg/ha N : vert peu soutenu.

90-120-150/ha N : vert foncé.

Par ailleurs, au moment de la récolte, les feuilles des parcelles témoin présentaient des signes de vieillissement très accusés, tandis que les feuilles des parcelles à 120 et 150 kg d'azote étaient encore fonctionnelles.

CONDITIONS CLIMATOLOGIQUES.

La plantation a été faite en période de sécheresse relative, mais le sol devait encore renfermer des réserves d'eau suffisantes (108 mm de pluie au cours des deux mois précédant la plantation). Cette humidité du sol

a permis la diffusion de la fumure azotée minérale et a facilité le départ de la végétation.

RÉSULTATS CULTURAUX.

Désignation des traitements	Rendements	Indices de comparaison
Témoin	29,8 t	100
60 kg N	33,3	112
90 —	34,1	114
120 —	36,3	122
150 —	38,1	128

— Signification d'ensemble de l'essai : P = 0,01.

— Plus petite différence indicaire significative : 13,5.

La fertilisation azotée a eu un effet positif sur le rendement. Mais cet effet demeure limité par suite des conditions climatiques de l'année.

III. — FUMURE PHOSPHATÉE

Action et arrière-action des engrais phosphatés en Beauce. — L. DEPARDON et P. BURON (*Blois*).

SOL : limon argileux (20 p. 100 d'argile) de pH 7, renfermant en 1945, 0,20 pour 1 000 d'acide phosphorique assimilable (acide citrique à 2 p. 100).

DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL.

De 1945 à 1952 inclusivement, 3 séries de parcelles ont reçu une fumure phosphatée représentant au total, 600 kg de P_2O_5 par hectare, les fumures appliquées de 1953 à 1957 inclusivement, ayant correspondu respectivement :

— pour l'une de ces séries aux exportations supposées ;

— pour la 2e de ces séries aux exportations supposées × 1,5 ;

— pour la 3e de ces séries aux exportations supposées × 2.

Une autre série de parcelles, qui n'a pas reçu de P_2O_5, depuis 1945 sert de témoin.

La culture expérimentée en 1957 a été la luzerne, faisant suite à une culture de pomme de terre.

Cette luzerne, qui doit être conservée pendant 3 années, a reçu, pour toute sa durée, par hectare, la fumure suivante, enfouie par un bon labour, son semis ayant eu lieu en sol nu le 3 avril :

N 0
P_2O_5 0 — 150 — 225 — 300 kg
K_2O 300 kg.

PLUVIOMÉTRIE : Du 3 avril (semis) au 17 septembre (2e coupe) écart avec la normale + 82 mm dû à la forte pluviosité des mois d'été.

RÉSULTATS (total de la 1re et de la 2e coupe).

P_2O_5	Rendement en foin sec par ha	Erreur probable %	Indices de comparaison
	—	—	—
0 (depuis 1945)	3732 kg	± 2,1	100
exportation × 1.....	4672	± 2	125,2
exportation × 1,5	4852	± 2,4	130
exportation × 2.....	4900	± 1,4	131,3

Les différences de rendement sont significatives entre les parcelles ayant reçu la dose de P_2O_5 correspondant aux exportations supposées et celles ayant bénéficié de 2 fois cette dose, alors qu'elles ne le sont pas entre ces dernières et celles auxquelles il a été appliqué une quantité égale à 1 fois 1/2 les besoins présumés.

L'acide phosphorique ayant été apporté pour 3 années, avant le semis de la luzerne, en raison de la difficulté de le faire parvenir au niveau des racines de cette plante, au cours de son développement, il est probable que les différences observées s'accentueront la 2e et surtout la 3e année.

Expérience sur l'action et l'arrière-action des engrais phosphatés. — S. TROCMÉ (*Versailles*).

Douzième année de l'expérience dont le but et le dispositif ont été décrits précédemment dans ces *Annales* (1). En 1957, l'expérience a porté sur betterave à sucre. Fumure azotée : 100 kg de N de l'ammonitrate par ha. Fumure potassique 250 Kg K_2O du chlorure.

La fumure phosphatée appliquée, sous forme de superphosphate, a été de 80 kg P_2O_5 par ha sur les parcelles P_1 (parcelles maintenues sensiblement à l'entretien, puisque le bilan était de 13 kg P_2O_5 par ha, avant l'essai de 1957).

140 kg et 200 kg P_2O_5 par ha pour les parcelles enrichies P_2 et P_3.

RÉSULTATS : voir tableau.

CONCLUSIONS :

1° Malgré des attaques de cercosporiose et de jaunisse, les rendements ont été élevés. La suppression de l'acide phosphorique pendant 12 ans dans ce terrain moyennement pourvu en P_2O_5 (0,18 p. 1000 P_2O_5 soluble à l'acide citrique) n'a conduit qu'à une diminution des rendements en racines relativement peu accusée.

Les rendements augmentent légèrement avec la fumure phosphatée, bien que les doses apportées en P_1 compensent les prélèvements, ce qui

(1) 1955, n° 5, p. 819.

n'est pas en accord avec les conclusions antérieures. Les différences ne sont pas significatives, mais des résultats de même sens ont été déjà obtenus au cours des années précédentes (blé en 1955-56). Il n'est pas actuellement possible de savoir si ces différences sont dues à la fumure phosphatée de l'année ou aux enrichissements provenant des fumures antérieures.

La quantité de sucre par ha a été sensiblement la même, quelle qu'ait été l'importance de la fumure phosphatée, par suite d'une diminution (non significative) de la teneur en sucre en présence de fumures élevées.

2° La teneur des racines et des feuilles en P_2O_5 augmente avec la fumure phosphatée. Etant donné l'augmentation simultanée des rendements, les prélèvements en P_2O_5 atteignent des valeurs élevées (80 kg P_2O_5 par ha) en présence de la fumure phosphatée la plus forte.

TABLEAU I

	Bilan initial en kg P_2O_5/ha	kg P_2O_5/ha appliqués	t racines par ha	Indices	t feuilles par ha	Indices
P_0	— 562	0	44,8 ± 2,4	92,8	22,4 ± 1,7	104,3
P_1	— 13	80	48,3 ± 0,7	100	21,5 ± 0,7	100
P_2	244	140	50,0 ± 1,0	103,8	20,3 ± 0,4	94,5
P_3	531	200	52,6 ± 2,4	109,0	25,2 ± 2,8	117,1
Probabilités des différences			0/1-2-3 = 0,04 1/3 = 0,18		1/3 = 0,28 2/3 = 0,17	

	P_2O_5 °/₀₀ matière sèche		P_2O_5 prélevé en kg par ha			Sucre %	Sucre en t par ha
	racines	feuilles	racines	feuilles	total		
P_0	3,0	5,6 ± 0,5	29,7	25,5	55,2	15,4	6,90
P_1	3,6	6,6 ± 0,3	40,5	24,7	65,2	16,1	7,74
P_2	3,6	7,5 ± 0,5	40,6	26,7	67,3	16,3	8,12
P_3	3,8	7,3 ± 0,1	47,9	32,4	80,3	15,2	7,96
Probabilités des différences	0/3 = 0,18	0/1 = 0,12 0/2 = 0,05 0/3 = 0,02 1/3 = 0,06				2/3 = 0,11	

Évolution des engrais phosphatés (Super et phospal) en sol cultivé. — P. GOUNY et H. DENIZOT (*Dijon*).

Conditions expérimentales.

Un dispositif expérimental a été mis en place en 1950 sur un sol argileux, faiblement calcaire (1 à 10 p. 100 CO_3Ca) pour étudier l'évolution de l'acide phosphorique apporté par les superphosphates dans le sol. Il comprend vingt parcelles ayant chacune une superficie de 100 mètres carré.

A partir de l'hiver 1950-1951, les diverses parcelles ont reçu, chaque année, un des traitements suivants : 0-100-200-300 kg par hectare de P_2O_5 sous forme de superphosphate. A partir de l'hiver 1954-1955, un certain nombre de parcelles utilisées jusqu'alors comme témoin ont reçu annuellement 100, 200, 300 kg par hectare de P_2O_5 sous forme de phospal.

Au cours de l'année, 1957 le dispositif expérimental comportait ainsi les traitements suivants :

1) Témoin sans P_2O_5 depuis 1950.
2) 7 apports annuels de 100 kg/ha de P_2O_5 du super ;
3) 7 apports annuels de 200 kg/ha de P_2O_5 du super ;
4) 7 apports annuels de 300 kg/ha de P_2O_5 du super ;
5) 3 apports annuels de 100 kg/ha de P_2O_5 du phospal ;
6) 3 apports annuels de 200 kg/ha de P_2O_5 du phospal ;
7) 3 apports annuels de 300 kg/ha de P_2O_5 du phospal.

Le champ d'essai a d'abord été occupé par de la luzerne (1951-1955), puis a porté des cultures d'avoine (1956) et de pommes de terre (1957). Jusq'uen 1957, les apports d'engrais azotés ou potassiques ont été faibles ou nuls.

La mesure des rendements culturaux n'a pas permis jusqu'à présent de mettre en évidence des différences significatives entre les divers traitements.

Observations analytiques.

Un prélèvement systématique d'échantillons de sol et de sous-sol a été effectué dans toutes les parcelles avant le 5e apport de superphosphate et avant l'introduction du phospal dans l'essai. Un deuxième prélèvement a été effectué au cours de l'hiver 1957-1958.

Les observations en cours portent sur le prélèvement de 1955. Sur ces échantillons, on a procédé aux déterminations suivantes :

1) P_2O_5 soluble dans l'acide nitrique bouillant.
2) P_2O_5 soluble dans le réactif citrique de Dyer.
3) P_2O_5 soluble dans le réactif sulfurique de Truog.
4) P_2O_5 soluble dans le réactif acéto-acétique de Morgan-Barbier.

Etant donné les faibles variations observées chaque année dans les rendements culturaux des diverses parcelles, et la faible amplitude de variation du taux de P_2O_5 à l'intérieur du végétal, l'analyse doit mettre en lumière l'enrichissement du sol.

Les résultats analytiques ont été portés sur le tableau ci-joint.

L'examen de ce tableau montre que le stock de P_2O_5 total de ce sol représenté par le P_2O_5 soluble dans les acides forts n'a pas subi de variations sensibles.

Par contre, le P_2O_5 dit assimilable subit une sensible augmentation quel que soit le réactif utilisé, et traduit l'enrichissement du sol. Cependant, cet enrichissement est mieux mis en évidence avec le réactif de Morgan qu'avec les réactifs de Dyer et de Truog qui se montrent équivalents.

La richesse en P_2O_5 du sous-sol est peu affectée par le traitement et seul le réactif de Morgan permet de déceler de façon certaine un enrichissement en acide phosphorique du sous-sol.

Répartition de l'acide phosphorique dans le sol

Traitement	P_2O_5 soluble dans NO_3H bouillant		P_2O_5 soluble dans le réactif de Dyer		P_2O_5 soluble dans le réactif de Truog		P_2O_5 soluble dans le réactif de Morgan-Barbier	
	pour mille	Indice de comparaison	pour mille	Indice de comparaison	pour mille	Indice de comparaison	g/kg	Indice de comparaison
Analyse de sols (0-15 cm).								
0	2,28	100	0,31	100	0,25	100	6	100
100 kg P_2O_5 (super)	2,64	111	0,37	119	0,31	124	10	167
200 kg P_2O_5 (super)	2,46	103	0,38	122	0,30	120	9	150
300 kg P_2O_5 (super)	2,70	113	0,41	131	0,32	128	11	183
Analyse de sous-sols (15-30 cm).								
0	2,16	100	0,25	100	0,19	100	4	100
100 kg P_2O_5 (super)	2,42	113	0,28	112	0,22	116	6	150
200 kg P_2O_5 (super)	2,13	99	0,28	112	0,17	89	5	125
300 kg P_2O_5 (super)	2,30	106	0,24	96	0,22	116	6	150

Sur le rôle des microorganismes vis-à-vis de l'évolution de la solubilité dans les acides et les bases dilués du phosphore apporté au sol sous forme de phosphate disodique ou d'engrais phosphatés industriels. — J. GUÉRILLOT et R. BAZIER (*Grignon*).

Des expériences commencées au début de 1956, continuées en 1957 sur des terres stérilisées ou non, conservées en tubes à essai, additionnées ou non d'une matière glucidique (amidon) et de PO_4HNa_2 pur ou d'un engrais phosphaté permettent de se rendre compte de l'évolution avec le temps de la solubilité du phosphore du sol dans des réactifs très dilués SO_4H_2 N/500 et HOK N/500).

Étude de l'évolution des diverses formes de phosphore des sols additionnés d'engrais phosphatés. — J. GUÉRILLOT et R. BAZIER (*Grignon*).

Le phosphore du sol peut être classé en différentes catégories de nature minérale (phosphate de fer, d'aluminium de calcium etc. sous

divers états) et en phosphore organique. Les méthodes proposées par divers auteurs sont essayées dans le but de les appliquer à l'étude de l'évolution dans le temps de ces formes du phosphore dans des sols additionnés d'engrais phosphatés industriels dans des conditions variées.

Étude comparée de l'arrière-action de divers engrais. — J. GUÉRILLOT et R. BAZIER (*Grignon*).

Des échantillons de sols additionnés d'un engrais phosphaté déterminé apporté en une seule fois sont cultivés en pots ou laissés sans culture pendant une période assez longue (2 ans, par exemple) avant de les cultiver à leur tour. On compare les poids et les exportations phosphorées des récoltes successives à l'évolution de la solubilité du phosphore du sol dans des réactifs acides ou alcalins très dilués.

Évolution des phosphates hyposolubles dans les sols de craie. — E. RADET (*Chalons-sur-Marne*).

L'auteur a étudié l'évolution du phosphate bicalcique, des scories et du phospal dans les sols crayeux de Champagne.

Il existe une certaine analogie dans le comportement des scories et du phospal, engrais qui subissent des transformations dans le sol et donnent naissance à du P_2O_5 solubles extractibles par le réactif au citrate de soude.

Le phosphate bicalcique qui fournit le plus de P_2O_5 soluble au premier épuisement conserve sa suprématie sur les deux autres formes.

Ce travail a été publié dans le Bulletin Français pour l'étude du sol. mars 1958 p. 102.

Effets comparés de l'acide phosphorique sous diverses formes sur blé en Beauce. — L. DEPARDON et P. BURON (*Blois*).

SOL : limon argileux à pH 7 renfermant pour mille en P_2O_5 assimilable (soluble dans l'acide citrique à 2 p. 100) 0,11 dans les parcelles témoins et 0,16 dans les parcelles phosphatées.

PLUVIOMÉTRIE : du 7 novembre (semis) au 26 juillet (récolte): écart avec la normale + 65 mm, dû à la pluviosité extrêmement élevée de février et de juin.

VARIÉTÉ : Capelle.

PRÉCÉDENT CULTURAL : betteraves sans fumier.

FUMURE PAR HA.

N : 80 kg : 45 kg (à l'état d'ammonitrate) le 11-3 et 35 kg (à l'état de nitrate de chaux) le 12-4 P_2O_5 O ou 90 kg et K_2O 80 kg enfouis par un labour le 4-11.

NOMBRE DE RÉPÉTITIONS : 5.

RÉSULTATS.

P_2O_5 total apporté par ha	Rendement en grains par ha	Erreur probable % (grains)	Indices de comparaison (grains)	Rapport grain/paille	Poids spécifique
0 — Témoin	36 qx	± 2,2	100	0,39	75,1
90 kg					
Phospal	37,85	± 1,8	105,1	0,39	75,5
Bicalcique	37,92	± 2	105,3	0,38	75,5
Scories granulées	38,68	± 1,8	107,4	0,39	75
Super granulé	38,83	± 1,7	107,8	0,39	75,1
Scories pulvérulentes	39,12	± 2,4	108,6	0,39	75,1

Si le phosphate bicalcique n'a pas la place qu'il occupait généralement, il faut aussi reconnaître que les différences de rendement observées entre les parcelles ayant reçu de l'acide phosphorique sur la base de 90 kg par hectare, ne sont significatives en aucun cas, alors que, par rapport au témoin, tous les excédents sont significatifs.

Il y a toutefois lieu de s'étonner d'aussi faibles augmentations de rendements (les parcelles sont maintenues exactement aux mêmes emplacements depuis 1951) étant donné que la teneur en P_2O_5 assimilable (citrique) qui oscille entre 0,16 et 0,18 pour mille dans les parcelles phosphatées n'atteint que 0,11 dans les témoins.

Si l'apport de P_2O_5 n'a pas enrichi le grain, il a fait passer la teneur de la paille en cet élément de 0,07 à 0,09 pour cent de matière sèche.

Fumure phosphatée du Riz. — Mme F. HUGUET (*Avignon*).

Essais sur :

a) Détermination de la dose optimum d'acide phosphorique à fournir au riz.

b) Comportement des diverses formes d'engrais phosphaté en rizière.

1) Doses optimum d'acide phosphorique.

a) ESSAI AU DOMAINE DU MAS VERT.

Dispositif expérimental : Carrés latins comprenant 16 parcelles de 70 ares, permet de comparer depuis trois ans l'efficacité relative de 4 doses de P_2O_5, en présence d'une même fumure azotée (135 kg de N et potassique (80 kg K_2O).

En 1955 et 1956, les engrais minéraux ont été employés seuls, en 1957 on a épandu en supplément, de façon uniforme, sur toutes les parcelles, 20 tonnes de fumier.

Variété : Balilla — Repiqué le 23 juin.

Rendements : (En quintaux de grains a 13 p. 100 d'humidité).

Fumure	Année		
135 kg N + 80 kg K_2O avec à l'hectare	1955	1956	1957
0 kg P_2O_5	53,78 ± 2,51	31,81 ± 2,37	43,46 ± 2,40
75 kg.....	58,97 ± 2,51	39,0 ± 2,37	41,02 ± 2,40
150 kg.....	54,95 ± 2,51	36,80 ± 2,37	41,95 ± 2,40
225 kg.....	58,64 ± 2,51	34,71 ± 2,37	41,84 ± 2,40
	Avec d $\geqslant$ 8,7	Avec d $\geqslant$ 8,24	Avec d $\geqslant$ 8,07

Conclusions : La première année d'observation permettait de conclure à l'inutilité des doses élevées de P_2O_5, la seconde année situe l'optimum de la fumure à 75 kg, les parcelles sans engrais phosphatés ayant régressé par rapport aux parcelles avec phosphate.

En présence de fumier en 1957, on ne constate pas de différence de rendements entre les divers traitements phosphatés. L'effet de la fumure phosphatée a pu être masqué par la fumure organique : l'emploi des hautes doses de P_2O_5 ne paraît toujours pas indispensable dans ce cas.

b) Essai au domaine de la Reyranglade.

Sol : On a affaire à un limon argileux, bien pourvu en azote, mais dont le taux d'acide phosphorique est plutôt faible.

Dispositif expérimental : Trois doses de superphosphate sont épandues depuis deux ans sur 4 blocs de 3 parcelles en présence de 100 kg d'azote sous forme d'urée et de 70 kg de potasse.

Rendements (En quintaux de grains a 13 p. 100 d'humidité).

Conclusions : Les résultats obtenus ne mettent pas en évidence l'utilité des hautes doses de P_2O_5, pour ce type de sol.

c) Essai au domaine du Vedeau.

Sol : Limon sableux.

Dispositif expérimental : Successivement 100 et 160 kg de P_2O_5 interviennent dans quatre blocs de deux parcelles qui reçoivent d'autre part uniformément 140 kg d'azote et 96 kg de potasse à l'hectare.

Rendements (quintaux de grains a 13 p. 100 d'humidité).

Fumure appliquée	1956	1957
N + K + 60 Kg P_2O_5	37,8 ± 5,45	60,7 ± 1,9
N + K + 120 Kg P_2O_5	37,6 ± 5,45	61,4 ± 1,9
N + K + 180 Kg P_2O_5	27,3 ± 5,45	58,2 ± 1,9
	Avec d $\geqslant$ 18,9	Avec d $\leqslant$ 6,7

CONCLUSIONS : La première année d'essai n'a pas révélé de différence de rendements, entre les 2 formules adoptées.

La plus value obtenue en 1957 avec la haute dose de P_2O_5 n'est pas significative. Cependant on peut penser qu'en raison de la production élevée de ces parcelles en 1956, la dose de 100 kg de P_2O_5 a pu être insuffisante en 1957, pour compenser les exportations dues aux récoltes de l'année précédente. Dans le cas de sol à haute productivité, si les pailles sont exportées et faute de données plus sûres, il est prudent de conseiller d'appliquer 160 kg P_2O_5 à l'hectare, si l'on ne veut pas voir la nutrition de la céréale être limitée par le facteur acide phosphorique. Lorsque les rendements se situent autour de 50 quintaux à l'hectare, une dose de 80 kg paraît être suffisante pour compenser les exportations.

2) **Comportement des diverses formes de P_2O_5.**

En raison des conditions particulières de croissance du riz dans l'eau, on a été amené à mettre en comparaison trois formes d'engrais phosphatés :

1° Phosphates d'Alumine et de Calcium traités (Phospal).

2° Phosphates naturels finement moulus (Hyperphosphate).

3° Superphosphate.

a) ESSAI AU DOMAINE DES CORREGES.

Sol : Argilo calcaire. pH 8,1 — CO_3Ca total 31,6 p. 100.

Dispositif expérimental : Comparaison entre formes (1) et (3).

A la fumure azotée (30 kg N/Ha) et potassique (60 kg K_2O) on a ajouté 120 kg de P_2O_5 sous l'une des deux formes choisies.

Variété : La variété Bellardone repiquée le 3 juin a été récoltée à la moissonneuse-batteuse le 1er octobre.

Rendements.

Fumure phosphatée appliquée	Rendement en Quintaux de grains à 13 % d'humidité
0 kg	45,7 ± 2,03
Superphosphate 750 Kg à 16 %	46,42 ± 2,03
Phospal à 32,5 % 370 Kg	47,4 ± 2,03
	avec d' $\geqslant$ 6,26

CONCLUSIONS : La méthode de discussion statistique adoptée ne met pas en évidence, après cette seule année d'étude, de différence notable de comportement des formes adoptées ; cet essai sera :

b) ESSAI AU MAS PIQUET.

Sol : Limon argilo-calcaire pH 7 Co_3Ca : 41,7.

Dispositif expérimental : A 130 kg d'azote et 50 kg de potasse hectare, sont ajoutés successivement 100 kg d'acide phosphorique sous forme de superphosphate ou de phosphates naturels ; chacun des 4 blocs comprend en plus d'une des formules précédentes une parcelle sans acide phosphorique. Repiquage le 14 juin. Des observations faites à la période de l'épiaison ont laissé apparaître des décalages dans le pourcentage des épis sortis pour les divers traitements ; le classement a pu être fait dans l'ordre décroissant suivant : parcelle Superphosphate > parcelle Phosphates naturels > parcelle sans Acide phosphorique.

Rendement : (en quintaux de grains à 13 p. 100 d'humidité).

Fumure phosphatée appliquée	Rendements en qx de grains	Pourcentage de grains verts
Néant	56,42 ± 1,83	8 %
Phosphates naturels	57,54 ± 1,83	7 %
Superphosphate	59,49 ± 1,83	5 %
	avec d' ⩾ 6,32	

Conclusions : L'action sur le rendement n'est pas significative ; seul le pourcentage de grains verts accuse des différences, qu'il sera nécessaire de confirmer à l'avenir.

3) **Conclusion générale sur la fumure phosphatée du riz.**

L'action de l'acide phosphorique sur le riz ne se manifeste pas de façon aussi éclatante que celle de l'azote, mais elle se traduit néanmoins par un ensemble de caractéristiques bien connues, et déjà signalées par les pays qui produisent du riz depuis des siècles (Inde et Japon).

Cet élément favorise la formaion des racines secondaires en surface, et active la maturité des grains. Une plante carencée en cet élément a tendance à rester en touffe, avec des feuilles courtes et étroites, les racines primaires allongées prennent une teinte brun rougeâtre, tandis que le grain murit difficilement. Ces processus physiologiques ont une répercussion vis-à-vis de la rentabilité de la production qui peut se traduire par des chutes de rendement de l'ordre de 5 p. 100 environ. Tel est l'ordre de grandeur trouvé lors des divers travaux effectués aux champs quand la fumure phosphatée a été réduite pendant plusieurs années consécutives, sur les mêmes parcelles.

Si l'emploi des engrais phosphatés se révèle comme nécessaire pour éviter l'épuisement du sol en cet élément, et les phénomènes de déficience signalés vis-à-vis de la plante, par contre nos essais *orientent les praticiens*

vers l'utilisation de doses modérées de P_2O_5 : les hautes doses ne participent pas à une plus value de récoltes, mais peuvent parfois déséquilibrer l'alimentation de la plante.

IV. — FUMURE POTASSIQUE

Fixation de la Fumure potassique. — P. BOISCHOT-Mme G. SIMON (*Versailles*).

L'alimentation minérale des plantes est assurée en grande partie par la solution du sol.

Mais lorsqu'on ajoute un engrais phosphaté ou potassique au sol la plus grande partie du P_2O_5 et du K_2O est retenue par le pouvoir fixateur du sol d'une façon plus ou moins irréversible et une petite portion reste en solution.

Le but de ce travail, qui paraîtra dans « Chimie et Industrie » est de voir comment se comportent les engrais potassiques dans différents types de sols et les conséquences que cela comporte sur l'établissement de la fumure potassique.

Actions comparées du bicarbonate, du chlorure et du sulfate de potasse dans différents sols.

Les stations de Blois, Dijon, Quimper et Versailles ont comparé les actions du bicarbonate de potasse avec des engrais potassiques habituels (chlorure et sulfate) aux points de vue de la variation du pH et de l'épuisement en chaux et en matières humiques de différents sol.

Ces expériences feront l'objet d'un mémoire d'ensemble ultérieurement.

Évolution des engrais potassiques en sol cultivé. — P. GOUNY et H. DENIZOT (*Dijon*).

CONDITIONS EXPÉRIMENTALES.

Un dispositif expérimental a été mis en place en 1951 sur un sol argilo-calcaire peu profond pour étudier l'évolution dans le sol du potassium apporté. Il comprend vingt parcelles, ayant chacune une superficie de 100 m².

A partir de l'hiver 1951-1952, les diverses parcelles ont reçu chaque année un des traitements suivants : 0-100-200-300 kg/ha de K_2O sous forme de chlorure. A partir de l'hiver 1955-1956, une dose élevée de potassium a été apportée annuellement sur certaines parcelles maintenues jusqu'alors sans potasse.

Au cours de 1957, le dispositif expérimental ainsi modifié comportait les six traitements suivants :

1° Témoin sans potasse depuis 1951 ;
2° 6 apports annuels de 100 kg/ha de K_2O ;
3° 6 apports annuels de 200 kg/ha de K_2O ;
4° 6 apports annuels de 300 kg/ha de K_2O ;
5° 2 apports annuels de 600 kg/ha de K_2O ;
6° 2 apports annuels de 1000 kg/ha de K_2O.

Le champ d'essais a été occupé successivement par de la luzerne (1952-1956) et de l'avoine (1957). Jusqu'en 1957, les apports d'engrais azotés ou phosphatés ont été faibles ou nuls.

La mesure des rendements culturaux n'a pas permis jusqu'à présent de mettre en évidence des différences significatives entre les divers traitements.

Observations analytiques.

Un prélèvement systématique d'échantillons de sols et de sous-sols a été effectué dans toutes les parcelles avant le quatrième apport de chlorure de potassium. Un deuxième prélèvement a été effectué au cours de l'hiver 1957-1958.

Les observations en cours portent sur le prélèvement de 1955. Sur ces échantillons, on a procédé aux déterminations suivantes :

a) K_2O soluble dans l'acide nitrique bouillant ;

b) K_2O soluble dans l'acide nitrique normal (méthode généralement adoptée pour déterminer le potassium « rétrogradé ») ;

c) K_2O soluble dans l'acide nitrique échangeable ;

d) K_2O soluble dans l'acide nitrique acéto-acétique de Morgan-Barbier.

La mesure des rendements culturaux avait montré que les apports d'engrais potassiques n'avaient pas exercé d'effet sensible sur la masse de production végétale. Divers sondages avaient cependant permis de déceler une plus grande richesse en potassium chez les végétaux provenant des parcelles recevant les apports d'engrais potassiques. Malgré cette augmentation des exportations, le bilan cultural doit se traduire par un enrichissement du sol.

Les résultats analytiques ont été portés sur le tableau ci-joint.

Conclusions. — Ces résultats montrent que trois années d'apports d'engrais potassiques sur une luzerne cultivée en sol argilo-calcaire faiblement pourvu en potasse, ne se traduisent par aucun enrichissement du sol et n'ont pas modifié de façon sensible les répartitions du potassium du sol entre les divers états : facilement soluble, échangeable ou rétrogradé.

On notera, par ailleurs, le peu de différence de richesse potassique entre le sol et le sous-sol des diverses parcelles.

Répartition du potassium du sol.

Traitement	K_2O soluble dans les acides forts		K_2O soluble dans NO_3H (N)		K_2O échangeable		K_2O soluble dans le réactif acéto-acétique	
	pour mille	Indice de comparaison	pour mille	Indice de comparaison	pour mille	Indice de comparaison	mg/kg	Indice de comparaison
Analyse de sols (0–15)								
Témoin	2,89	100	1,17	100	0,27	100	32	100
100 kg K_2O	2,73	95	1,15	98	0,25	92	31	97
200 kg K_2O	2,66	92	1.20	102	0,29	107	34	106
300 kg K_2O	2,93	102	1,16	99	0,30	111	31	100
Analyse de sous-sols (15–30)								
Témoin	2,83	100	1,13	100	0,25	100	25	100
100 kg K_2O	2,50	89	1,11	98	0,22	88	25	100
200 kg K_2O	2,95	104	1,14	101	0,24	96	27	108
300 kg K_2O	2,87	101	1,13	100	0,24	96	21	104

Comparaison de l'action du bicarbonate de potasse à celle du chlorure et du sulfate de potassium dans les sols de 3 régions naturelles : Beauce, Perche et Sologne. — P. BURON (*Blois*).

Si les essais réalisés au laboratoire, ont porté sur une quinzaine de terres, les documents qui sont rapportés ici ne s'appliquent qu'à 3 sols bien représentatifs de 3 grandes régions naturelles présentant les caractéristiques suivantes :

	Sologne	Perche	Beauce
pH	6,1	5,65	6,52
Teneur en argile pour 1000 de terre fine	65	102	203

La technique opératoire indiquée, qui a été rigoureusement suivie, a abouti aux résultats ci-après :

I. — *Acidité réelle.*

K_2O par litre	Sologne	Perche	Beauce
0	6,1	5,65	6,52
50 mg du KCl	6	5,6	6,47
100 mg du KCl	5,92	5,52	6,45
200 mg du KCl	5,85	5,42	6,35
600 mg du KCl	5,65 — 0,45	5,2 — 0,45	6,17 — 0,35
50 mg du SO^2K^4	6	5,6	6,5
100 mg du SO^2K^4	5,92	5,52	6,45
200 mg du SO^2K^4	5,85	5,45	6,37
600 mg du SO^2K^4	5,65 — 0,45	5,3 — 0,35	6,32 — 0,2
50 mg du CO^3KH	6,2	5,72	6,55
100 mg du CO^3KH	6,3	5,82	6,6
200 mg du CO^3KH	6,4	5,97	6,65
600 mg du CO^3KH	6,7 + 0,6	6,35 + 0,7	6,70 + 0,18

II. — *Potasse absorbée par kg de terre* (en K_2O)

Potasse absorbée = (Potasse par litre + Potasse soluble eau) — Potasse dosée après centrifugation

K_2O par litre	Sologne			Perche			Beauce		
	mmg	mmeq	% de K_2O fix.	mmg	mmeq	% de K_2O	mmg	mmeq	% de K_2O
50 mmg du KCl	30,7	0,65	61,4	42,5	0,91	85	47,6	1.01	95,2
100 — d° —	61,6	1,31	61,6	82	1,71	82	95,1	2,02	95,1
200 — d° —	115,4	2,45	57,7	151,5	3,22	75,7	185,2	3,94	92,6
600 — d° —	266,9	5,67	44,4	393,5	8,37	65,5	520,2	11,06	86,7
50 mmg du SO_4K_2	26,9	0,51	53,8	41,5	0,88	83	47,6	1,01	95,2
100 — d° —	61,6	1,31	61,6	81,7	1,73	81,7	94,6	2,01	94,6
200 — d° —	115,4	2,45	57,7	152,5	3,24	76,2	187,2	3,98	93,2
600 — d° —	266,9	5,67	44,4	402,5	8,56	67	523.2	11,13	87,2
50 mmg du CO_3KH ...	37,8	0,80	75,6	44,3	0,94	88,6	49,5	1,05	99
100 — d° — ...	71,7	1,52	71,7	85,5	1,81	85,5	96,4	2,05	96,4
200 — d° — ...	134,9	2,87	67,45	166	3,53	83	189,5	4,03	94,75
600 — d° — ...	323,9	6,89	53,9	453,5	9,64	75,5	539,2	11,47	89,8

III. — *Calcium échangé par kg de terre* (en CaO)

CaO échangée = CaO dosée — CaO échangeable initiale

K_2O par litre	Sologne		Perche		Beauce	
	mmg	mmeq	mmg	mmeq	mmg	mmeq
50 mmg du KCl.....	11	0,39	15,4	0,55	22,4	0,8
100 — d° —	30,8	1,1	51,8	1,85	44,8	1,6
200 — d° —	70	2,5	92,4	3,30	95,2	3,4
600 — d° —	154	5,5	201,6	7,18	281,4	10,05
50 mmg du SO_4K_2	7	0,25	19,6	0,7	16,8	0,6
100 — d° —	30,8	1,1	47,6	1,7	30,8	1,1
200 — d° —	67,2	2,4	82,6	2,95	81,2	2,9
600 — d° —	154	5,5	204,4	7,3	281,4	10,05
50 mmg du CO_3KH	0	0	0	0	0,4	0,01
100 — d° —	2,8	0,1	2,2	0,08	8,4	0,3
200 — d° —	5,6	0,2	5,6	0,2	25,2	0,9
600 — d° —	21	0,75	18,2	0,65	123,2	4,4

Commentaires

De l'examen de ces tableaux, il ressort que le bicarbonate de potasse employé comme engrais :

1° Augmente le pH des sols, contrairement aux sels de potassium du chlorure et du sulfate. Cette augmentation du pH est d'autant plus grande que le sol renferme moins d'argile, et est plus acide à l'origine.

Il a été vérifié que ces variations s'atténuent dès que le pH est voisin de la neutralité, et deviennent nulles en sols alcalins.

2° La fixation de l'ion potassium par le complexe argilo-humique, qui est sensiblement égale avec le chlorure et le sulfate de potassium, s'élève très sensiblement avec le bicarbonate de potasse.

Le taux de potassium fixé augmente rapidement avec la richesse en argile, et diminue avec les quantités croissantes de potasse ajoutées au sol (Loi d'adsorption).

3° Les quantités de chaux passant en solution dans le liquide sont comparables avec les sels de potassium du chlorure et du sulfate.

Les quantités de chaux déplacées exprimées en mmeq sont légèrement inférieures aux quantités de potasse fixées, exprimées en mmeq. La différence est d'autant plus grande que le sol est plus argileux.

Le bicarbonate de potasse en sols acides et employé à doses normales n'enrichit pas les solutions du sol en chaux ; s'il est employé à fortes doses, les pertes en CaO sont moins élevées qu'avec les sels de potassium du chlorure et du sulfate.

CONCLUSIONS : L'emploi du bicarbonate de potasse comme engrais semble donc particulièrement indiqué dans les sols légers et acides puisqu'il diminue leur acidité, limite au minimum les pertes en chaux et assure au maximum la fixation de la potasse qu'il apporte.

Expérience sur l'action et l'arrière-action des engrais potassiques. — S. TROCMÉ (*Versailles*).

Douzième année de l'expérience dont le but et le dispositif ont été décrits précédemment dans ces *Annales* (1). En 1957, l'expérience a porté sur betterave à sucre. Fumure azotée : 100 kg N de l'ammonitrate par ha. Fumure phosphatée : 70 kg P_2O_5 du super par ha.

La fumure potassique, appliquée sous forme de chlorure, a été de 250 kg K_2O par ha sur les parcelles K_1, 350 sur les parcelles K_2, 500 sur les parcelles K_3.

RÉSULTATS : voir tableau I. Rendements élevés malgré des attaques de cercosporiose et de jaunisse.

CONCLUSIONS :

a) la suppression de la fumure potassique depuis douze ans a produit une diminution significative de rendements en racines, mais beaucoup moins accusée que celle qui avait été observée en 1952. Par contre, les rendements en feuilles sont significativement plus élevés dans les parcelles sans potasse. En fait, les feuilles de ces parcelles paraissaient beaucoup moins attaquées par la jaunisse que les autres (sans qu'on ait pu préciser si le virus n'était pas en réalité masqué, ou si l'absence de chlorure avait joué un rôle dans ce phénomène).

b) comme déjà observé certaines années précédentes, les rendements augmentent avec les doses de potasse appliquées (différence significative, pour les feuilles entre K_1-K_2 et K_3). Les teneurs en sucre sont maxima en

(1) 1955, N° 5, p. 823.

présence de la fumure potassique la plus élevée. Il n'est pas encore possible de dire si les différences observées sont dues à la fumure de l'année ou aux enrichissements provenant des fumures antérieures.

c) La teneur en potasse des feuilles et des racines augmente avec l'alimentation potassique — les teneurs en sodium, calcium et magnésium variant en sens inverse — notamment la teneur en calcium dans les racines et la teneur en magnésie dans les feuilles (tableau II). La composition minérale des plantes des parcelles témoins se différencie nettement de celle des plantes avec potasse.

d) Les prélèvements en K_2O augmentent avec l'alimentation en potasse, jusqu'à atteindre la dose élevée de 360 kg K_2O par ha.

TABLEAU I

	Bilan initial en kg K_2O/ha	kg K_2O appliqués	t racines par ha	Indices	t feuilles par ha	Indices
K_0	— 1 071	0	41,2 ± 3,7	86,0	23,7 ± 0,8	116,2
K_1	— 149	250	48,0 ± 2,0	100	20,5 ± 1,1	100
K_2	153	350	49,9 ± 1,4	104,0	20,2 ± 0,2	98,6
K_3	1 050	500	50,8 ± 0,4	105,9	22,7 ± 1,1	110,9
Probabilités des différences			0/1-23 = 0,04 0/2 = 0,1 0/3 = 0,07		0/1-23 = 0,04 0/1 = 0,09 0/2 = 0,02 1-2/3 = 0,02	

	K_2O ‰ matière sèche		K_2O prélevé en kg par ha			Sucre %	Sucre en t par ha
	racines	feuilles	racines	feuilles	total		
K_0	6,4 ± 0,1	23,6 ± 1,7	57,4	103,4	160,8	15,3	6,34
K_1	10,8 ± 0,6	41,1 ± 2,7	112,1	157,8	269,9	16,2	7,80
K_2	12,0 ± 1,0	45,1 ± 2,7	135,2	170,8	306,0	15,7	7,81
K_3	12,4 ± 1,4	49,8 ± 2,4	152,7	206,8	359.5	16,6	8,43
Probabilités des différences						0/1 = 0,1 0/3 = 0,04	

TABLEAU II

p. 1 000 *de matière sèche.*

	Racines				Feuilles			
	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	CaO	MgO
K_0	6,4	1,1	3,8	2.7	23,6	14,6	22,0	9,1
K_1	10,8	0,9	3,4	2,7	41,1	14,9	18,6	7,1
K_2	12,0	0,8	2,7	2,5	45,1	12,6	18,8	6,5
K_3	12,4	0,7	2,7	2,5	49,8	12,2	20,3	6,7

Fumure potassique du blé en Beauce. — L. DEPARDON et P. BURON (*Blois*).

SOL : limon argileux (23 p. 100 d'argile) à pH 7 renfermant 0,22 p. 1000 de potasse échangeable, correspondant seulement à 0,9 p. 1 000 de l'argile.

Malgré une teneur relativement satisfaisante en potasse, sa mobilité pouvant être insuffisante, en raison du pouvoir absorbant élevé de ce sol, une expérience comportant l'apport de doses croissantes de cet élément a été mise en train.

PLUVIOMÉTRIE : Du 7 novembre (semis) au 26 juillet (récolte) : écart avec la normale + 65 m/m, dû à la pluviosité élevée de février et de juin

VARIÉTÉ : Capelle.

PRÉCÉDENT CULTURAL : pommes de terre, sans fumier.

FUMURE PAR HECTARE :

N : 80 kg (45 kg à l'état d'ammonitrate) le 11-3 et 35 kg à l'état de nitrate de chaux le 12-4.

P_2O_5 : 80 kg (superphosphate), K_2O : 0-60-75-90 kg enfouis par un labour le 4/11.

NOMBRE DE RÉPÉTITIONS : 5.

RÉSULTATS :

K_2O par ha	Rendement en grains par ha	Erreur probable % (grains)	Indices de comparaison (grains)	Rapport grain/paille	Excédent de grains par kg de K_2O apporté	Poids spécifique
—	—	—	—	—	—	—
0 témoin.....	37,98 qx	± 1,7	100	0,37	«	74,8
60 kg.....	41,33	± 1,8	108,8	0,38	5,6 kg	74,8
75 kg.....	42,44	± 1,5	111,7	0,39	5,9	75,4
90 kg.....	42,74	± 1,4	112,5	0,38	5,3	75,4

Si les différences sont significatives entre le témoin et les autres parcelles, elles ne le sont pas entre les parcelles fertilisées. Néanmoins, si l'on tient compte de l'amélioration du poids spécifique, les doses les plus élevées paraissent indiquées. Le poids des grains est augmenté par la fumure potassique (54 g pour 1 000 grains au lieu de 53 g).

Alors que la teneur du grain en K_2O est la même partout, y compris dans le témoin, dans la paille, cette teneur passe de 0,89 dans le témoin à 1 p. 100 de matière sèche pour la parcelle ayant reçu la dose la plus élevée de chlorure de potassium.

Redressement d'une carence potassique du prunier d'Ente par la fumure profonde. — J. LIWERANT (*Toulouse*).

Suite de l'expérience commencée en 1951 (compte-rendus des travaux des Stations en 1954, 55 et 56).

Dispositif expérimental. — Ces pruniers ont été plantés en octobre 1951, sans fumure de fond. Les engrais phosphatés et potassiques ont été localisés après la plantation à 45 cm de profondeur, en lignes, des deux côtés de chaque rangée d'arbres. La fumure azotée minérale est apportée annuellement en couverture, à la fin de l'hiver.

Les arbres des parcelles NPK et NK se sont développés normalement Par contre, le développement des arbres des parcelles N et NP a été freiné et leur feuillage présentait des symptômes généralisés de carence potassique.

Le redressement de l'alimentation potassique des arbres de la parcelle N a été entrepris en 1955, celui de la parcelle NP en 1956. Les effets de la fumure de redressement se sont manifestés dès la première année ; l'analyse des feuilles a permis de constater une amélioration de l'alimentation potassique très nette, mais insuffisante.

En décembre 1956, on a incorporé dans toutes les parcelles, à 40 cm de profondeur et à 2 m des troncs, 400 kg de nitrate de potasse 14/24 à l'hectare. L'effet de la fumure a été contrôlé par l'analyse périodique des feuilles et par des mensurations des troncs et des branches. Le tableau I donne les résultats de l'analyse des feuilles prélevées le 2 septembre 1957.

Tableau I

Analyse des feuilles : p. 100 *de matières sèches*

Fumure	Cendres		N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
	totales	solubles					
NPK	15,1	4,8	2,10	0,47	3,20	4,90	0,84
NK	13,7	4,5	1,99	0,44	2,92	4,61	0,78
NP.....	13,8	4,0	2,19	0,48	2,46	4,66	0,82
N	13,9	4,6	2,14	0,46	3,13	4,47	0,77

On constate que l'alimentation potassique des arbres de la parcelle N (3,13 p. 100) a atteint, au cours de la troisième année de fumure de redressement, le niveau des arbres normalement pourvus en cet élément depuis la plantation. Par contre, l'alimentation des arbres NP reste, au cours de la deuxième année de fumure potassique, encore un peu faible (2,46 p. 100). Il en résulte que le rétablissement complet de l'alimentation potassique des arbres fortement carencés en cet élément n'est réalisé que la troisième année après le premier apport d'une fumure de redressement.

L'accroissement annuel des arbres NPK a été, en 1957, très satisfaisant : 75 mm ; celui des arbres N et NP à peine plus faible. On constate cependant une certaine gradation : arbres N — troisième année de fumure : 70 mm ; arbres NP — deuxième année de fumure : 64 mm. Au

cours des années précédentes la différence d'accroissement entre les arbres NPK d'une part, N et NP d'autre part, a été nettement plus marquée. Il semble par conséquent, que sous l'effet de la fumure de redressement, l'accroissement des arbres se rétablit au même rythme que l'alimentation potassique.

TABLEAU II

Circonférences des troncs.

Fumures	NPK	NK	NP	N
1957 — circonférence en mm.....	329	339	281	283
1956 — circonférence en mm.....	254	262	217	213
1957 — accroissement en mm	75	77	64	70
Par rapport à NPK				
1957 — circonférence : indices.....	100	103	85	86
1957 — différence en mm	—	+ 10	—48	—46

Mais s'il est possible de rétablir, par une fumure appropriée, la vitesse d'accroissement annuel d'un arbre précédemment carencé, le retard de croissance accumulé pendant les années d'alimentation insuffisante, persiste lorsque l'alimentation est devenue normale. On constate, en effet, que la circonférence des arbres N et NP continue à être inférieure à celle des arbres NPK de 46 et 48 mm. Cette différence ne s'atténuera progressivement que lorsque les arbres NPK commenceront à produire et, de ce fait, ralentiront leur croissance. Il semble qu'en définitive, les arbres N et NP combleront le retard dans leur développement végétatif, mais leur mise à fruits sera retardée d'un ou deux ans. C'est ce qui résulte des observations faites cette année : alors que les arbres NPK portaient chacun plusieurs dizaines de fleurs, les arbres N n'en avaient que de rares et les arbres NP en étaient dépourvus. Par conséquent, même lorsqu'on arrive à redresser plus ou moins rapidement une carence alimentaire des arbres, celle-ci entraîne toujours des pertes importantes, non récupérables, notamment un manque à gagner dû au retard de la fructification.

V. — ENGRAIS DIVERS

Le sodium dans la fertilisation des prairies. — E. RADET (*Chalons-sur-Marne.*)

Expériences sur prairies de 7 ans. Sol lessivé sablo-argileux. pH 7,3, 0,15 p. 1 000 K_2O échangeable.

Protocole expérimental : Fumure phosphatée uniforme. Potasse aux doses 0-50-100 kg de K_2O à l'ha en fin d'automne sous forme de chlorure.

Azote : 100 kg à l'ha sous forme de nitrate de soude ou nitrate de chaux.

Rendements : L'étude statistique des rendements ne permet pas de donner une supériorité à une forme ou à une autre. L'apport de soude du

nitrate de soude n'a pas augmenté les rendements en présence ou en absence de potasse.

Composition minérale des plantes en Na et K.

La fumure sodique du nitrate de soude du Chili, associée ou privée de potasse, agit profondément sur la composition de l'herbe.

La teneur en sodium passe par un maximum en l'absence de potasse, elle décline ensuite, tout en restant très voisine, avec les doses progressives de potasse pour une même fumure sodique.

Quand la fumure minérale avec ou sans potasse, est privée de sodium, la teneur des herbes en cet élément se maintient à peu près constante.

Il faut souligner l'accumulation du sodium dans les herbes fourragères, même dans le cas d'une fumure carencée en sodium. Ainsi, avec ou sans potasse, pour les trois récoltes, les teneurs trouvées exprimées en Na_2O varient entre 0,22 et 0,46 p. 100 de matière sèche, tandis qu'elles se relèvent entre 0,44 et 0,71 p. 100 avec la fumure au nitrate de soude.

Dans ce sol peu pourvu en K_2O échangeable avec 0,16 p. 1 000, la fixation de cet élément par l'herbe à la première récolte a été fonction des doses de potasse utilisées, par contre elle demeure à peu près invariable et plus faible pour les autres récoltes.

Le sodium a favorisé la mobilisation de la potasse apportée par la fumure.

Alcalescence : Les valeurs obtenues sont indiquées dans le tableau.

	1re coupe			2e coupe			3e coupe		
Doses de K_2O.....	0	50	100	0	50	100	0	50	100
Nitrate de soude ...	— 12	— 18	— 17	+ 8	+ 9	+ 10	— 3	— 2	— 3
Nitrate de chaux...	— 13	— 12	— 14	+ 9	+ 13	+ 13	+ 2	+ 1	— 0,6

Ces valeurs négatives pour la première et troisième récolte, positives, mais encore insuffisantes pour la deuxième récolte, dénotent un déséquilibre minéral des herbes fourragères. Ce déséquilibre provient d'une trop faible minéralisation en calcium.

L'alcalescence augmente un peu avec la fumure nitrique contenant l'ion calcium.

Rapport Ca/P : Les chiffres obtenus pour ce rapport sont inscrits dans le tableau.

	1re coupe			2e coupe			3e coupe		
Doses K_2O.....	0	50	100	0	50	100	0	50	100
Nitrate de soude ..	0,43	0,39	0,43	1,3	1,4	1,3	0,92	0,83	0,92
Nitrate de chaux ..	0,56	0,53	0,47	1,4	1,6	1,4	1,1	1,1	1

Ce rapport doit être compris entre 1 et 2.

Le déséquilibre est très accentué avec la première récolte, il résulte d'une minéralisation trop faible en calcium de l'herbe. Le rapport redevient normal pour les autres récoltes, mais il s'infléchit un peu au-dessous de l'optimum en troisième récolte avec le nitrate de soude.

Rapport N/Ka en milliéquivalents : Les valeurs prises par ce rapport sont consignées dans un tableau.

	1re coupe			2e coupe			3e coupe		
Doses K_2O	0	50	100	0	50	100	0	50	100
Nitrate de soude	1,9	5,0	5,4	2,8	2,5	3,0	2,2	2,4	2,7
Nitrate de chaux....	6,2	7	9,1	3,1	5,5	4,3	2,9	3,7	3,8

Ce rapport, doit être voisin de 4 pour les plantes fourragères.

Il est toujours minimum avec la fumure sodique, en l'absence de potasse, il augmente en fonction des doses de potasse.

Dans cette expérience, la forte minéralisation de l'herbe en sodium a eu pour conséquence de déprimer le rapport K/Na au-dessous de l'optimum fixé avec le nitrate de soude du Chili, sauf en première coupe avec la fumure potassique.

Si l'emploi judicieux du sodium avec le nitrate de soude permet, de corriger ce rapport dans un sens favorable, il peut se produire aussi des surcharges en Na dans les herbes fourragères qui risquent de s'accentuer avec la fumure sodique. Ce cas est plutôt exceptionnel et il s'applique à une prairie en voie de dégradation, à flore très hétérogène, établie sur sol de limon.

VIII. — OLIGOELEMENTS

Recherches sur les conséquences éventuelles d'applications répétées de borate. — J. CHABANNES (*Versailles*).

L'auteur a indiqué dans le rapport 1956, *Annales Agron.* 1957, p. 728) le résultat d'une enquête ayant pour but de rechercher si des applications périodiques de bore à chaque retour des betteraves conduisent à la longue à un enrichissement en bore du sol et des cultures. Cette enquête n'a pas révélé une accumulation notable de B assimilable dans les sols en recevant régulièrement depuis 20 ans, ni un enrichissement appréciable des feuilles de betteraves en bore. L'enquête a été poursuivie en 1957 sur luzerne et sur blé. Les analyses de luzerne indiquent que leur teneur en B a été influencée, de façon significative. Il en est de même pour la teneur en bore des épis de blé (Capelle) qui est significativement plus élevée (P : 0,01) dans les pièces ayant reçu régulièrement du bore pour les betteraves (2,9 contre 1,0 de B par million de matière sèche).

D'autre part, l'auteur a confirmé que le bore est bien retenu dans des sols de nature variée (expérience déjà partiellement décrite dans le rapport interne sur les travaux des Stations Agronomiques effectués en 1956) : un limon, un sous-sol de limon, un sol brun calcaire, un sol sableux humifère ont reçu 11 applications successives d'acide borique correspondant chacune à 20 à 50 kg de borax par ha, le sol étant desséché à l'air entre chaque application. Parallèlement des échantillons sans acide borique ont été traités de la même façon. Après 3 cultures en vases, tomates, blé

et luzerne, les terres ont été lessivées par une solution froide de $CaCl_2$, 0,01 N jusqu'à égalisation approximative des quantités cédées par les terres boratées et les terres témoins, ce qui a exigé une percolation d'environ 550 cc pour 10 g de terre. Il n'est donc pas douteux que l'ion borique à un comportement très différent de celui de l'ion nitrique ou chlorhydrique par exemple. C'est la terre calcaire qui cède le plus facilement le bore retenu (55 à 58 p. 100 de B lessivé, par différence avec le témoin) et la terre sablo humifère qui le retient le plus fortement (27 p. 100). Une extraction à l'eau bouillante (50 cc pour 10 g de terre au réfrigérant à reflux) n'a pas permis d'extraire la totalité du bore restant : la quantité totale de bore extraite par tous les traitements oscille entre 75 p. 100 (terre calcaire) et 23 p. 100 (terre sablo humifère).

L'ensemble des recherches effectuées peut se résumer ainsi (voir également *C. R. Ac. Agric.* 23 mars 1955).

Dans les terres soumises à l'enquête, il a été appliqué au cours de la période considérée (20 ans) des doses de bore de l'ordre de 15 kg B au total (7 applications de 30 kg de borax). Or les terres renferment par ha de couche labourée (3 000 tonnes) 3 à 5 kg de bore soluble dans l'eau bouillante, et environ 10 fois plus de bore total. Les quantités appliquées sont donc nettement supérieures au bore considéré comme assimilable (même en doublant celui-ci pour le sous-sol). Or, d'après l'enquête de l'auteur, la teneur en bore des cultures a été peu influencée, ce qui implique soit que le bore été retenu sous forme peu assimilable, soit que le bore a été lessivé.

L'auteur considère que ces deux hypothèses comportent chacune une part de vérité. En effet, au cours d'extraction aqueuse successives de terres boratées, une fraction importante du bore (par exemple 40-50 p. 100 pour une terre de limon) est lessivée au cours de la 1re ou des deux premières extractions (du moins pour des terres non humifères).

Le reste ne passe en solution que très lentement. Il est à noter que ce reliquat est peu important vis-à-vis du bore total.

Quoiqu'il en soit, il est confirmé que le danger éventuel d'une accumulation toxique de bore par répétition des doses usuelles à chaque retour des betteraves, apparaît comme lointain, et qu'il est préférable pour le moment de continuer à fournir, de petites doses de borate à titre préventif dans les régions où des carences de bore ont été constatées sporadiquement.

Carences en bore dans le limon des Plateaux de la Seine-Maritime. — Ed. Jouis (*Rouen*).

En 1955 et en 1956, la Station Agronomique de Rouen a donné des comptes rendu de ses recherches sur les teneurs en bore de divers sols de

limon de la Seine-Maritime et sur les conséquences que peut avoir une carence en bore sur le comportement des lins textiles.

En 1957, plusieurs cas de carence en bore ont été détectés sur betteraves.

CARENCES EN BORE OBSERVÉES EN 1957. Ferme de M. Jean Danvy. Cette ferme est située à Butot en Caux, canton de Cany.

R 1489/490. — Champ de Canouville, partie en lin en 1955. Ce champ avait été marné en 1953. En 1955, le cultivateur avait constaté une attaque de « brunissure », environ sur la moitié du champ, mais nous n'en avions pas été averti à cette époque. En 1956, cette partie et le reste du champ de Canouville ont été en betteraves et on y a constaté de la maladie du cœur.

En 1957, les prélèvements de sols ont été effectués sur chaumes de blé. On a trouvé :

	R 1489	R 1490
	—	—
pH	6,8	7,1
Bore, en ppm	0,35	0,16

Outre la petite différence d'acidité que l'on constate presque toujours dans les cas de carence, on remarque un déficit très net en bore dans une partie ayant correspondu au lin malade.

R 1467 *bis*/1468. — Dans cette autre partie du champ de Canouville, une fraction du champ avait des betteraves à peu près saines, et une autre montrait de la maladie du cœur. On a trouvé :

	R 1467 bis	R 1468
	—	—
pH	6,9	7,0
Bore, en ppm	0,30	0,25

Les teneurs en bore sont un peu inférieures à celle que nous considérons comme teneur limite par les limons du Caux, soit 0,40 ppm.

R 1469/470. — Dans cette même ferme, le champ de Sainte-Ville, présentait des betteraves malades dans la partie la plus haute et la plus caillouteuse donc la plus sèche, alors que la partie basse du champ avait un sol relativement profond. On a trouvé :

	R 1469	R 1470
	—	—
pH	6,6	7,0
Bore (ppm)	0,33	0,33

C'est là une bonne illustration du fait qu'en état de richesse limite et à teneur égale en bore, la zone sèche, plus mince et plus alcaline d'un champ hétérogène sera carencée en bore, alors que la zone humide profonde, plus acide ne le sera pas.

Des prélèvements de betteraves saines et malades ont été analysés. On a trouvé en ppm de bore dans la matière sèche :

	Racines		Feuilles	
	Saines	Malades	Saines	Malades
Champ de Canouville	10,0	8,75	15,0	5,0
Champ de Sainte Ville	10,0	—	20,0	—
Champ de petites betteraves malades.	—	7,5	—	5,0
Champ de grosses betteraves malades.	—	7,5	—	9,0
Betterave saine dans partie malade	7,0	—	17,50	—

On voit que les betteraves malades sont moins riches en bore, surtout dans les feuilles.

Ferme de M. Jean-Pierre Ouvry, La Gaillarde Canton de Fontaine-le-Dun.

Le champ est situé entre La Gaillarde et Luneray :

	R 1568	R 1569
pH	6,6	7,2
Bore ppm	33	30
Betteraves racines (sur sec)	7,5	7,5
Betteraves feuilles (sur sec)	17,0	12,5

Ces résultats confirment les précédents. Sur l'ensemble des feuilles, le dosage du bore total permet de différencier nettement les plantes saines des plantes malades.

Conclusions générales. — Les analyses poursuivies depuis trois ans sur les sols de limon de Caux et sur les plantes : lin et betteraves permettent de vérifier l'hypothèse que d'assez nombreux champs ont une teneur en bore qui se situe à la limite ou en deça de la teneur nécessaire maintien d'une bonne santé physiologique. Dans cette condition limite de richesse, un facteur défavorable comme la sécheresse ou une petite alcalinité du sol suffit à déclencher les symptômes de carence.

L'analyse du sol, surtout quand elle est comparative entre une partie saine et une partie malade, de même que l'analyse des feuilles de betteraves permet de diagnostiquer ou de préciser l'existence de la carence en bore.

Études sur la toxicité du bore chez le houblon. — R. Marocke (*Colmar*).

L'obtention des manifestations de toxicité du bore s'avère assez difficile dans des essais en plein champ et leur interprétation assez délicate nous a amené à procéder à des essais préliminaires par l'emploi de cultures en vases. Le choix a porté sur trois sols se différenciant par leurs caractéristiques fondamentales :

	pH	Argile p. cent	Calcaire p. cent
Loess-lehm	8,1	16,0	12,8
Limon	5,6	17,5	néant
Sol sableux	5,3	20,5	néant

Les doses croissantes de bore appliquées à ces divers sols, correspondaient par kg de terre sèche, aux valeurs suivantes :

$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$...	(en g)	0	0,1	0,2	0,4	0,8
B	(en mg)	0	11,4	22,8	45,6	91,2

L'apparition et l'ampleur des signes de toxicité furent très variables et essentiellement fonction du type de sol et des doses de B apportées :

— loess-lehm : avec 22,8 mg de B, signes bénins et temporaires, au-dessus, accentuation des lésions nécrotiques et dépérissement de la plante pour des doses supérieures à 45,6 mg de B par kg de sol.

— Limon : signes de toxicité assez graves avec une addition de 11,4 mg de B; léthalité au-delà de cette dose.

— Sol sableux : influence très légère avec 11,4 mg de B, aggravation des signes toxiques avec l'accroissement de la dose, la dose mortelle pour la végétal étant supérieure à 22,8 mg de B par kg de sol.

On peut résumer comme suit les symptômes dus à l'influence toxique du bore relevés sur le houblon en cours de cycle végétatif :

I. — PERTURBATIONS FAIBLES : en début de végétation, les feuilles des pousses présentent un aspect nettement chlorotique; cette chlorose affecte le limbe mais respecte par contre les nervures qui conservent leur coloration vert foncée. Au fur et à mesure du développement de la plante, les symptômes précédents s'estompent, puis disparaissent ; la plante plus âgée retrouve son aspect normal. Signalons qu'à ce stade, les signes de toxicité du bore se confondent avec les carences en magnésium du houblon.

II. — PERTURBATIONS PROFONDES : la chlorose des feuilles est plus accentuée que précédemment puisqu'elle affecte également les nervures ; les tissus foliaires marginaux se nécrosent et se dessèchent. L'allure générale des feuilles est caractérisée par un enroulement des bords du limbe leur conférant l'aspect d'une coupe. La chute des feuilles est inéluctable à ce stade.

Le méristème apical des lianes se dessèche très rapidement d'où un arrêt de l'allongement de la tige ; de même la croissance inter-nodale cesse tandis que les méristèmes secondaires continuent à fonctionner normalement, ce qui permet un accroissement normal du diamètre de la tige. La mort du méristène apical a pour conséquence immédiate un développement très actif des rameaux issus des bourgeons axillaires de la tige ; cette prolifération latérale donne un aspect buisonnant typique à la plante.

Au début de leur développement, les feuilles issues des ramifications ont un aspect plus ou moins chlorotique, des bords légèrement nécrosés et nous retrouvons l'enroulement caractéristique déjà signalé plus haut. Par la suite, les feuilles reprennent une coloration vert foncée normale,

mais ne connaissent plus d'accroissement et conservent l'enroulement de leurs bords.

III. — PERTURBATIONS LÉTHALES : dans leur première phase, les symptômes correspondent approximativement aux précédents; toutefois, les rameaux latéraux ne poussent pas, par suite du dessèchement des bourgeons dont ils sont issus. La nécrose et le dessèchement des tissus méristématiques apicaux se généralisent et s'étendent à toute la plante qui meurt, la souche comprise.

Importance du Manganèse et du Cuivre dans la croissance des céréales. — M. COPPENET (*Quimper*).

Ces deux oligo-éléments sont les plus importants dans la croissance des céréales. L'auteur insiste sur les conditions d'apparition des carences liées à la nature des roches mères, l'action sur la physiologie des plantes, les symptômes visuels de déficience, les conséquences agronomiques, les moyens préventifs et curatifs à mettre en œuvre pour pallier aux carences de ces deux micro-éléments.

Cette étude a paru dans les comptes-rendus du Congrès international des Engrais (Heidelberg 1957).

Traitement de la carence en Mn sur betterave rouge. — G. THEILLER et J. DELMAS (*Pont-de-la-Maye*).

A la suite de la détermination de l'origine et du caractère des troubles observés en 1956, des essais plus complets ont été entrepris en 1957 (voir *C. R. travaux Ann. Agro.* 1956, page 725).

Des parcelles ont été délimitées dès l'apparition des premiers symptômes.

FUMURE : 150 kg de sulfate d'ammonium, 400 kg superphosphate, 300 kg chlorure de potasse et50 kg de fleur de soufre.

SEMIS : fin mars. Variété « plate d'Egypte ».

SYMPTOMES TRES NETS dans la partie correspondant à la zone malade en 1956 dès la mi-mai : faible croissance et symptômes foliaires identiques à ceux observés en 1956.

TRAITEMENTS : 5 traitements (répétition non possibles).

	Rdt/parcelle en kgs	Rdt/ha en tonnes
	—	—
1 témoin	1,5	0,8
2 sulfate de Mn 15 g au m² au sol	13,0	7,0
3 sulfate de Mn 5 % en pulvérisation	43,0	23,4
4 sulfate de Mn 10 % en pulvérisation	53,0	28,8
5 sulfate de Mn 5 % en pulvérisation + sulfate Mn 15 g m² au sol	52,0	28,3

effectués le 17 mai.

12 jours après, les plantes réagissaient nettement, particulièrement aux pulvérisations : les feuilles perdaient leur coloration rouge progressivement et reverdissaient ; les feuilles nouvelles présentaient un aspect et une coloration normale.

D'autre part, la végétation adventice s'est accrue sous l'effet des pulvérisations (amarante notamment).

Fin juin, la parcelle traitée au sol (2) réagissait à son tour favorablement mais les symptômes foliaires de carence n'avaient pas disparu.

1er août : *récolte*, triage et pesée des racines (diamètre commercialisable : $>$ 4 cm environ).

Le tableau ci-dessus montre l'effet des différents traitements sur les rendements.

CONCLUSIONS : Les résultats obtenus avec les différents traitements sont très satisfaisants par rapport au témoin. Les racines du témoin n'ont pratiquement plus poussé à partir de mi-mai.

On constate que le SO_4Mn au sol a marqué déjà favorablement, malgré une application tardive.

En appliquant ce sel au sol avant le semis, le rendement serait certainement supérieur au rendement obtenu.

Les pulvérisations ont donné le meilleur résultat. Ce procédé reste dans un cas semblable le plus rapide, le plus efficace et le plus rentable permettant, même en application tardive. une récolte normale.

Deux pulvérisations à 5 p. 100 ,à l'intervalle de 3 ou 4 semaines, seraient certainement très efficaces.

Sur cette bande de terrain malade, la carence en Mn sur chicorée, haricot, pêcher, a agi défavorablement avec apparition nette de symptômes ainsi que sur la croissance de la tomate mais sans symptôme caractéristique.

L'*asperge*, par contre, donne de meilleurs rendements sur cette bande.

Études sur la carence en manganèse. — M. COPPENET et Mme J. CALVEZ (*Quimper*).

I. — INFLUENCE DE LA PROFONDEUR DU SOL

Il serait plus exact d'employer l'expression « profondeur de la couche chaulée ». Y. Coïc, au cours de ses études sur la carence en manganèse des céréales a particulièrement insisté sur l'existence d'une période critique (fin avril, début mai) au cours de laquelle la plante semble souffrir le plus intensément de cette malnutrition. Plusieurs facteurs peuvent intervenir pour faire cesser cette période, dans le cas de carence moyenne ou peu grave, au nombre desquels nous citerons : modification dans les phénomènes microbiens qui régissent la dynamique du manganèse dans le sol, variation du stade végétatif et de la physiologie de la plante, exten-

sion du système radiculaire et arrivée des racines dans une zone du sol plus acide donc plus apte à fournir du manganèse. Les apports de calcaire ayant déclenché la déficience manganique ont élevé le pH au-dessus de 6 sur une profondeur variant essentiellement avec celle des labours; on a voulu préciser l'importance de la profondeur de la couche chaulée sur la gravité de la carence en superposant dans des pots de végétation, une terre carencée de pH 6,8 à un sous-sol acide de pH 6,3 riche en manganèse actif. Il s'agit de pots de 30 cm de hauteur contenant environ 25 kg de terre et non drainés. L'avoine a été semée le 29-3-57 à raison de 25 plantes par pot; les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous :

	N° des pots				
	1	2	3	4	5
Profondeur du sol carencé .	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm	30 cm
Profondeur sous-sol acide..	20 cm	15 cm	10 cm	5 cm	0 cm
Nombre de plantes avec symptômes de carence					
29/4/57	2	6	15	4	22
7/5/57	15	22	21	25	25
24/5/57	0	5	25	25	25
Récolte					
25/7/57					
poids de la botte	68 g	69 g			
poids du grain.....	4,8 g	7,1 g			
19/9/57					
poids de la botte			15 g	18 g	22 g
poids du grain.....			0	0	0

Un mois après le semis de l'avoine, les racines sont déjà soumises à l'influence du sous-sol acide situé à 10 cm de profondeur car à ce moment-là (29-4-57), le pot 1 est moins gravement atteint que le pot 2. Le 7-5-57, la présence de 5 cm de sous-sol acide au fond du pot n° 4, fait que les symptômes sont moins graves que dans le pot n° 5, bien que tous les pieds présentent des symptômes. A cette date et jusqu'au 15 mai, l'examen de la végétation indique une croissance de la gravité de la carence en allant de 1 vers 5. Si l'épaisseur de la couche chaulée est inférieure à 20 cm, l'avoine est capable de se ressaisir à partir du 20 mai et de donner une récolte quasi normale. Les nouvelles feuilles formées après le 15 mai dans les pots 1 et 2 ne manifestent plus de symptômes pathologiques.

Ces résultats montrent que pour une même teneur des sols en « manganèse actif », la gravité de la carence dépendra de la profondeur à laquelle se trouve le sous-sol acide. D'autre part, les normes peuvent être très différentes selon qu'il s'agit d'une culture de plein champ ou d'une culture en pot avec absence de sous-sol.

II. — Action du manganèse des scories Thomas

Les scories de déphosphoration contiennent de 2 à 5 p. 100 de MnO, ce qui constitue une proportion non négligeable susceptible d'enrichir

en manganèse les sols recevant de fortes doses de cet engrais. L'apport de 10 tonnes de scories sur un hectare correspond en moyenne à une élévation d'au moins 100 p. p. m. de la teneur de la terre en Mn ; les sols granitiques finistériens ne contiennent souvent pas plus de 200 p.p.m. de Mn total. Malheureusement, comme nous le savons, la carence en manganèse n'est pas conditionnée par le manganèse total seul.

Un essai au champ, assez sommaire, nous a montré que des doses de 2 et 3 tonnes/ha de scories, enfouies avant une culture d'avoine de printemps, en terre carencée, avaient une action favorable. Devant la difficulté d'expérimenter en plein champ, on a voulu préciser l'action du manganèse des scories par des essais en pots.

1re série : terre carencée nº 1.

	Récolte par pot
Témoins.....	6 g pas d'épis
Pot 1 T (3,34 g de scories pour 10 kg de terre, soit environ l'équivalent de 1 tonne par ha	13 g pas d'épis
Pot 2 T (6,68 g de scories).....	20,4 g 4 épis et 3 tardillons

Il y a eu des symptômes de carence grave dans tous les pots, mais la carence était moins sérieuse dans le pot 2 T.

2e série : terre carencée nº 2.

	Récolte par pot
1ers symptômes de carence visibles le 29 Avril	
Témoin 1	3 g
Témoin 2	3,1 g
1ers symptômes de carence visibles le 9 Mai	
Pot 3 T (10 g de scories).....	7 g (pas d'épis)
Pot 4 T (13,4 g de scories).....	19 g (4 épis)

3e série : terre carencée nº 3.

Doses correspondant approximativement à 10 tonnes, 20 tonnes et 30 tonnes de scories/ha.

La 1re année de culture, l'avoine n'est pas carencée dans ces pots.

La 2e année de culture sur blé, il y a une carence assez grave.

Comme conclusions provisoires, nous pouvons dire que les scories aux doses de 1 à 4 tonnes/ha diminuent l'intensité de la carence en manganèse sur une plante sensible, comme l'avoine. Pour annihiler complètement la carence, pendant une année, dans un essai en pot, il faut arriver à 30 g de scories par 10 kg de terre, soit environ 10 tonnes/ha en une seule fois.

Action de la magnésie et d'oligo-éléments sur betteraves en Sologne. — L. DEPARDON et P. BURON (*Blois*).

SOL : très sablonneux; composition p. 1 000 de terre totale : 0,56 d'azote, 0,14 de P_2O_5 assimilable, 0,12 de K_2O échangeable, 0,13 de MgO échangeable, 700 de sable grossier, 30 d'argile, pH : 7,3.

PLUVIOMÉTRIE : Du repiquage (20 juin) à la récolte (30 octobre) écart avec la normale + 63 mm.

VARIÉTÉ : 1/2 sucrière rouge de Vilmorin.

PRÉCÉDENT CULTURAL : maïs-grain.

AMENDEMENT ET FUMURE PAR HA :

Un chaulage réalisé sur la base de 10 tonnes de calcaire broyé par hectare, au printemps, donne la raison du pH relativement élevé de cette parcelle des terres de la ferme expérimentale de Souvigny en Sologne.

Les tiges et les feuilles du maïs avaient en outre été incorporées au sol.

FUMURE MINÉRALE :

N : 80 kg (dont 20 kg de la cianamide en décembre et 60 kg de l'ammonitrate le 12-7).

P_2O_5 : 72 kg (scories).

K_2O : 120 kg de chlorure.

A cette fumure fut ajoutée :

— soit une spécialité hollandaise (à raison de 500 kg par ha contenant : 2 p. 100 de cuivre = 10 kg de cuivre ; 4 p. 100 de zinc = 20 kg de zinc ; 0,3 p. 100 de bore = 1,5 kg de bore ; 0,3 p. 100 de cobalt = 1,5 kg de cobalt (incorporés à une charge siliceuse) ;

— soit chacun de ces oligo-éléments, à l'exception du cobalt.

D'autre part, étant donnée la pauvreté de ce sol en magnésie, le sulfate de magnésie fut expérimenté à la dose de 500 kg par hectare.

NOMBRE DE RÉPÉTITIONS : 5.

RÉSULTATS : (27 000 plantes par hectare).

	Rendement en tonnes par ha	Erreur probable %	Indices de comparaison
	—	—	—
Témoin (sans oligo-éléments) ...	44,36	± 1,3	100
Bore (acide borique)	45,67	± 2,2	102,9
Cuivre (sulfate de cuivre)	45,73	± 1,4	103,1
Zinc (sulfate de zinc)	46,46	± 1,2	104,7
Spécialité (Cu + Zn + B + Co) ..	46,49	± 1,6	104,8
Magnésie (sulfate de Mg)	46,52	± 1,7	104,9

Malgré la faible augmentation du rendement, les différences sont significatives entre les parcelles témoins et celles ayant reçu le cuivre, le zinc et la spécialité hollandaise, alors qu'en 1956, seul le zinc avait eu une action positive. Le chaulage important réalisé, en inactivant certains oligo-éléments, existant normalement dans le sol, aurait-il favorisé l'action de certains de ceux apportés? De nouveaux essais s'imposent pour confirmer ou infirmer ces résultats.

Quant à la magnésie, pour la 2e fois, son apport a abouti à un effet favorable, quoique faiblement positif, malgré une teneur du sol considérée généralement comme à peu près satisfaisante.

Répercussions de la carence magnésienne sur la physiologie et la production du pommier. — R. BLANCHET (*Versailles*).

La carence magnésienne se traduit par une forte diminution de la teneur en Mg des rameaux et des feuilles âgées. Au contraire, les jeunes feuilles, les fleurs et les fruits conservent une teneur normale. Dans les cas de carence grave, la forte réduction de l'appareil assimilateur, conséquence des nécroses, entraîne une importante réduction de la production de fruits et de bois. Cette carence a généralement pour cause un fort appauvrissement du sol en Mg. La reconstitution de réserves convenables exige des apports élevés d'engrais magnésiens (*Revue horticole* 1957, 2216, p. 1606).

Observations sur le traitement de la chlorose des poiriers. — J. CHABANNES, A. DUPRAT et S. TROCMÉ (*Versailles*).

Les essais de traitement de la chlorose des poiriers ont eu pour but de mettre en comparaison les produits habituellement employés jusqu'ici avec certains chelates [1].

Les observations ont porté sur une période de 4 années consécutives dans divers vergers de la région parisienne et sur plus de 200 arbres. Les chelates (Fe E D T A, Fe H E E D T A et Fe D T P A) ont été employés d'une part, en application dans le sol et d'autre part en pulvérisation sur le feuillage.

1° Dans le sol, l'application des chelates fournit des résultats satisfaisants. Mais le prix très élevé de ces produits et la nécessité d'utiliser un pal ou d'arroser copieusement le sol limitent beaucoup leur emploi. Toutefois, cette technique présente quelques avantages sur celle qui consiste à épandre des doses élevées de sulfate de fer dont l'effet est souvent nul ou donne lieu au contraire à des brûlures caractérisées.

2° En pulvérisation sur le feuillage, divers produits dont le sel de Mohr à 4 p. 1000 et Fe E D T A font verdir le limbe de façon discontinue par taches aux points d'impact et n'exercent aucune influence sur les feuilles développées après les pulvérisations.

Il est en général nécessaire de renouveler les pulvérisations pour obtenir un verdissement acceptable. Les auteurs n'ont jamais observé d'arrière-effet au cours des années suivantes.

(1) Cf. C.R. Ac. Agr. t. 44, 1, 46-50, 1958.

IX. — DIVERS

Le problème du travail du sol. — S. HÉNIN (*Lab. des Sols, Versailles*).

Revue de nos connaissances actuelles concernant la profondeur du labour, le sous-solage et le drainage-taupe. Cette étude a paru dans les C. R. des Chambres d'agriculture 1957. Supplément technique.

Suggestions en vue de la création d'une commission pour la sauvegarde de notre terre. — S. HÉNIN (*Lab. des Sols, Versailles*).

Le développement économique de notre pays fait subir à notre agriculture des pertes de fertilité qui sont dues aux causes suivantes : emprises industrielle et urbaine sur le territoire rural, modification du régime de l'eau consécutive aux travaux d'adduction et de génie civil. Rejet de produits toxiques ou agressifs des usines. Les risques particuliers dus à l'utilisation de l'énergie atomique et les substances radio-actives sont particulièrement soulignés. En conclusion, il semble nécessaire de créer des commissions ayant pour but d'évaluer les pertes de fertilité, de rechercher des moyens pour préserver l'agriculture et le cas échéant de l'indemniser (*C. R. Ac. Agr.* 1957, t. 43, p. 744).

Agronomie, écologie et pédologie. — D. COLLIER (*Clermont-Ferrand*).

La connaissance des aptitudes culturales des sols est fondamentale pour leur exploitation rationnelle ; elle nécessite des recherches relevant de disciplines différentes : de la Pédologie, par l'étude des relations entre les milieux et leur régime hydrique, de l'Ecologie agricole et de l'Agronomie par l'étude de l'influence de chacun de ces milieux sur le comportement des espèces et variétés cultivées et la rentabilité des techniques d'amélioration qui leur sont appliquées. Un mémoire sur cette question a paru dans le Bulletin de l'Association française pour l'étude du sol. (1957, nº 86, p. 800).

Isolement d'une antivitamine D des parties aériennes des végétaux. — Mme A. GUÉRILLOT-VINET, et R. BAZIER (*Grignon*).

Isolement à partir des feuilles et tiges de végétaux divers d'une substance cristallisée rachitigène, antagoniste de la vitamine D_3 sur le poulet. Importance pratique de ce composé dans la nourriture des herbivores. Ce

travail a été publié dans les Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture (1957, t. 244, p. 954).

Isolement d'une substance rachitigène des végétaux. — Mme A. GUÉRILLOT-VINET (*Grignon*).

Discussion de l'action des caroténoïdes végétaux comme substances rachitigènes. Action de la substance rachitigène ayant les caractères d'un stéroïde et s'opposant à la vitamine D_3 à la dose de 0,2 γ par jour chez le poulet. Action antagoniste également avec la « cétone 250 » qu'on trouve chez les mêmes végétaux. Ce travail a été publié dans les C. R. du 4e Congrès intern. de la nutrition, Paris 1957.

Interaction du 2-4-D, de la vitamine K_5 et de l'acide nicotinique sur les plantules de blé cultivées in vitro. — Mme G. DUPLESSY-GRAILLOT (*Grignon*).

Action de l'acide nicotinique sur l'antagonisme entre le 2-4-D et la vitamine K_5. Celui-ci, ajouté à la vitamine K_5 atténue la toxicité du 2-4-D, alors que seul, il n'a aucune action.

Ce travail fera l'objet d'un mémoire aux Comptes Rendus de la société biologique.

Étude de l'action antirachitique ou rachitigène de nouveaux produits naturels ou synthétiques chez le poulet et chez le rat. — Mme A. GUÉRILLOT-VINET et R. BAZIER (*Grignon*).

En plus des contrôles radiographiques, l'action de ces corps est étudiée sur la croissance des animaux ; sur le développement osseux, la teneur en calcium et en phosphore du sang et des os.

PHYTIATRIE — PHYTOPHARMACIE

Le problème du piétin échaudage des céréales dans les sols bretons. — J. PONCHET et M. COPPENET (*Quimper*).

Le piétin-échaudage des céréales provoqué par l'Ophiobolus graminis Sacc. prend, dans certains sols de Bretagne, un caractère de gravité exceptionnel. Il se généralise et détruit les récoltes établies sur sol de défriche ayant subi un apport important d'amendements calcaires. Ce caractère apparaît à la suite d'une première culture de céréales assurant dans ces sols déséquilibrés la multiplication de l'inoculum. Etant donné le caractère du champignon, il apparaît que son développement explosif est lié à une modification brutale de la microflore. Les apports tardifs d'azote au printemps limitent la gravité des symptômes et les effets du piétin-échaudage. Un mémoire détaillé sur cette question a paru dans la revue *Phytiatrie-Phytopharmacie*, n° 6, 1957, p. 157.

Essais de traitements contre la gale commune de la pomme de terre. — M. GUNTZ et M. COPPENET (*Quimper*).

Rappel des essais effectués en Bretagne concernant l'influence des fumures (fumier, engrais minéraux) de la fleur de soufre et de certains fongicides. Ces résultats ayant été donnés en détail dans les Annales Agronomiques 1956, p. 1106. De plus l'action de divers oligo-éléments enfouis à la plantation des tubercules est donnée.

Ce travail a paru dans la revue *Phytiatrie-Phytopharmacie*, 1957, n° 6, p. 187.

Contribution de la science du sol aux études préhistoriques. — J. DELMAS (*Pont-de-la-Maye*).

L'auteur a étudié les différentes méthodes de la science du sol et leur application possible en préhistoire. Il insiste sur le rôle de la connaissance du profil pédologique pour la caractérisation des strates dont certaines peuvent renfermer des industries humaines.

Il applique ensuite l'ensemble de ses remarques à l'étude d'une coupe préhistorique renfermant plusieurs niveaux riches en silex taillé d'âges différents, qui se rapportent à des sédiments de texture et d'origine également différentes.

Enfin, il passe en revue un certain nombre de méthodes modernes dont la mesure de l'âge par le radiocarbone et l'analyse pollinique, et montre leur intérêt en préhistoire.

(*Bulletin de l'Institut de Préhistoire des Eyzies*).

X. — BIBLIOGRAPHIE

PEDRO (G.). — Nouvelles recherches sur l'influence des sels dans la désagrégation des roches. *C. R. Ac. Sc.*, 1957, t. 244, p. 2822.

PEDRO (G.). — Mécanisme de la désagrégation du granit et de la lave de Volvic sous l'influence des sels de cristallisation. *C. R. Ac. Sc.*, 1957, t. 245, p. 333.

HÉNIN (S.), PEDRO (G.). — Mise en évidence d'un effet de dislocation du granit à biotite par traitement à l'eau oxygénée. *C. R. Ac. Sc.*, 1957, t. 245, p. 1451.

HÉNIN (S.), ORCEL (J.), CAILLIÈRE (Mlle S.). — La texture des pyrophyllites a son influence sur leur courbe thermique différentielle. *C. R. Ac. Sc.*, t. 244, 1957, p. 1383.

HÉNIN (S.), CAILLIÈRE (Mlle S.) et BIROT (P.). — Sur la formation transitoire de Montmorillonites dans certaines altérations latéritiques. *C. R. Ac. Sc.*, 1957, t. 244, p. 788.

RAOUL (Y.), MARNAY (Mlle C.), BOUCH (Mlle L.), PRELOT (Mme M.), GUÉRILLOT (Mme A.), BRAJUT (R.), et BARON (Ch.). — Isolement d'une antivitamine D des parties aériennes des végétaux. *C. R. Ac. Sc,*. 1957, t. 244, p. 954.

BIANCHET (R.). — Relation entre la vitesse de dilution isotopique du phosphore du sol et l'alimentation phosphatée des plantes. *C. R. Ac. Sc.*, 1957, 244, p. 2739.

BLANCHET. (R.) — Diverses formes d'adsorption du potassium échangeable dans le sol. *C. R. Ac. Sc.*, 1957, 244, p. 3082.

BLANCHET (R.). — Influence des colloïdes humiques sur différentes phases de l'absorption des éléments minéraux par les plantes. *C. R. Ac. Sc.*, 1957, 244, p. 2418.

CHAUSSIDON (J.). — Sur les potentiels de membranes échangeuses d'ions : méthode de mesure des activités ioniques. *C. R. Ac. Sc.*, t. 244, p. 2798-2800, 1957.

CHAUSSIDON (J.). — Sur les potentiels pluriioniques de membranes. *C. R. Ac. Sc.*, t. 245, p. 305-307, 1957.

MERIAUX (Mme S.). — Étude expérimentale de l'action d'un calcaire broyé sur un sol du Morvan *C. R. Ac. Agr.*, 1957, p. 619.

HÉBERT (J.). — Le problème de l'Humus dans les régions de culture industrielle du Nord de la France. *C. R. Ac. Agr.*, 1957, p. 427.

MALTERRE (A.), FIORAMONTI (S.). — Influence de deux caractéristiques du milieu sol-climat sur la productivité des blés en Haute-Garonne. *C. R. Agr. Fr.*, 1957, t. 43, p. 199.

LIWERANT (J.), MARTY (J. R.). — Sur quelques facteurs ayant influencé la résistance de la vigne au mois de février 1956. *C. R. Agr. Fr.*, 1957, t. 43, p. 814.

COLLIER (D.), GACHON (L.), ROBELIN (M.). — Cinquième année d'expériences en cases de végétation à la station d'Agronomie du Massif Central. *C. R. Ac. Agr.*, 1957, p. 664.

HÉNIN (S.). — Évolution du concept de sol et ses conséquences. *C. R. Ac. Agr.*, 1957, t. 43, p. 66.

HÉNIN (S.), TURC (L.). — Quelques données nouvelles concernant le bilan de la matière organique des sols. *C. R. Ac. Agr.*, 1957, t. 43, p. 88.

MONNIER (G.). — Influence de prairies temporaires sur la structure d'un sol de limon. *C. R. Ac. Agr.*, 1957, t. 43, p. 227.

TURC (L.). — Attaque de la Matière organique des sols par l'eau oxygénée et libération de l'azote. *C. R. Ac. Agr.*, 1957, t. 43, p. 231.

BASTISSE (M.). — Essais d'extraction du S et du P organiques par attaque des sols à l'eau oxygénée. *C. R. Ac. Agr.*, 1957, t. 43, p. 233.

HÉNIN (S.). — Les principes généraux de l'économie de l'eau dans les sols. Essai d'application aux cas des régions arides. *C. R. Ac. Agr.*, 1957, t. 43, p. 519.

HÉNIN (S.). — Suggestion en vue de la création d'une commission pour la sauvegarde de notre terre. *C. R. Ac. agr.*, 1957, t. 43, p. 744.

HÉBERT (J.). — Le problème de l'humus dans les régions de culture industrielle du Nord de la France. *C. R. Ac. Agr.*, 1957, t. 43, p. 427.

HÉBERT (J.). — Maintien du taux d'humus en culture industrielle du Nord de la France. *C. R. Ac. Agr.*, 1957, t. 43, p. 566.

BARBIER (G.), TENDILLE (Cl.) et TROCMÉ (S.). — Expérience culturale de onze années sur la fumure potassique. *C. R. Ac. Agr.*, 1957.

BLANCHET (R.). — Alimentation phosphatée des plantes et étude des réserves phosphoriques des sols. *C. R. Ac. Agr.*, 1957, 43, p. 458.

BARBIER (G.) et CHAUSSIDON (J.). — Les recherches sur le contact entre les racines des plantes et les colloïdes du sol, notamment dans le domaine électrochimique. *C. R. Ac. Agric.*, 18/12/1957.
HAMY (A.). — Relation entre la croissance et la concentration de certaines substances contenues dans les plantes. *An. Agr.*, 1957, nº 3, p. 467.
ROBELIN (M.), COPPENET (M.), HÉLIAS (Mme). — Étude et cartographie des sols d'une commune des Côtes-du-Nord : Loguivy-Plougras. *An. Agr.*, 3, p. 433, 1957.
LAMAZOU-BETREBER (Mlle) et PECH (Mme R.). — Observations sur la maturité d'un raisin de table. *Ann. Tech.*, nº 3, 1957, p. 293.
COLLIER (D.), GACHON (L.). — Essais de Fertilisation sur prairies permanentes fauchées en Auvergne et Forez. *An. Agr.*, 1957, nº 6.
HÉBERT (J.). — Humus dans les régions de grande culture B. T. I., 1957, nº 120, p. 229.
PONCHET (J.), COPPENET (M.). — Le problème du piétin échaudage des céréales dans les sols bretons. *Phytiatrie-Phytopharmacie*, 1957, nº 6, p. 157.
GUNTZ (M.) et COPPENET (M.). — Essais de lutte contre la gale commune de la pomme de terre. *Phytiatrie-Phytopharmacie*, 1957, nº 6, p. 187.
COPPENET (M.). — Importance du Manganèse et du Cuivre dans la croissance des céréales. Congrès CIEC, Heidelberg, 1957.
BORDAS (J.). — Études des prairies méridionales. BTI, 1957 (*à l'impression*).
HUGUET (Mme F.). — Résultats des essais relatifs à la fumure du riz. *Bull. des Agriculteurs*, janvier 1957.
HUGUET (Mme F.). — L'azote minéral dans les sols de rizière du midi de la France. Publication FAO, sept. 1957.
HÉNIN (S.). — Quelques résultats récents concernant la synthèse des minéraux argileux. *Agrochimica*, 1957, vol. 1, p. 328.
HÉNIN (S.), CALLIÈRE (Mlle S.). — Étude d'une singularité apparente dans les carrières d'argile Kaolinite de la Combe près les Eyzies. *C. R. Sociétés savantes*, 1957, p. 55.
HÉNIN (S.). — Le problème du travail du sol. *C. R. Ch. d'Agr.*, 1957, supplément technique.
LEFÈVRE (G.). — De l'emploi du superphosphate sur fumier. BTI, 1957, p. 353.
COLLIER (D.), GACHON (L.). — Les connaissances actuelles sur la fertilisation en Auvergne. *30e Congrès Chimie Industrielle*, Athènes, 1957. *Chimie Industrie*, vol. 78, nº 3 *bis*, p. 107.
GUENNELON (R.). — Application de la thermogravimétrie à l'étude des sols carbonatés. *Chimie Analy.*, vol. 39, nº 9, p. 334, 1957.
RAOUL (Y.), MARNAY (Mme C.), GUÉRILLOT-VINET (Mme A.). — Isolement d'une substance rachitigène des végétaux. *C. R.* 4e *Congrès Intl. de Nutrition*, Paris, 1957.
GUÉRILLOT (J.) et GUÉRILLOT-VINET (Mme J.). — Influence des engrais et du fumier sur la qualité des récoltes. *C. R. Congrès Intl. des Fertilisants*, Heidelberg, 1957.
BOISCHOT (P.) et SIMON (Mme). — Fixation de la fumure potassique. *Chimie et Industrie*, 1957, vol. 78, nº 3 *bis*, p. 106.
CHABANNES (J.). — Le bore et le soufre des eaux de pluie de diverses Stations de France. *Chimie et Industrie*, 1957, vol. 78, nº 3 *bis*, p. 107.
BOISCHOT (P.). — Principes de la Fumure azotée. *C. R. Congrès International des Engrais*, 1957 (Heidelberg).
BARBIER (G.). — Engrais minéraux et économie de l'humus dans le sol. Conférence au Congrès Mondial des Engrais Chimiques, Heidelberg, 1957.
BARBIER (G.). — A propos des méthodes chimiques d'évaluation de P_2O_5 assimilable des sols. *Association Internationale des Fabricants de Superphosphate*, nº 21, mai 1957.
BARBIER (G.), LESAINT (Mme) et QUILLON (Mme). — Sur la dissolution de phosphates peu solubles dans le sol, étudiée par dilution isotopique. *Agrochimica*, 1, nº 3, 1957.
BARBIER (G.). — Die Beweglicheit und Aufnehmbarkeit der Phosphorionen des Bodens, untersucht mittels Isotopen. Mars 1957, p. 81-86.
BLANCHET (R.). — Répercussion de la carence magnésienne sur la physiologie et la production du pommier. *Revue Horticole*, 1957, nº 2216, p. 1606.
MÉRIAUX (Mme S.), GILLY (G.), LAMONTRE. (B.) — Sur le lessivage des sols de la plaine de la Saône. *Bull. A. F. E. S.*, 1957, p. 715.
MÉRIAUX (Mme S.). — L'analyse granulométrique par densimétrie. *Bull. A. F. E. S.*, 1957, p. 928.
HÉBERT (J.). — Projet de cartographie des sols de l'Aisne. *Bull. A. F. E. S.*, 1957, nº 84, février.
MAROCKE (R.). — Quelques considérations sur les sols à houblon de la Basse-Alsace et les problèmes de la fumure du houblon. *Bull. A. F. E. S.*, nº 93, déc. 57.
COPPENET (M.). — Le problème du chaulage a la lumière de la science agronomique moderne. *Bull. A.F.E.S.*, nº 93, déc. 1957, p. 1020.
GUENNELON (R.). — Étude d'une poche d'argile rouge en relation avec une roche-mère calcaire. *Bull. A. F.E.S.*, oct. 1957, nº 91, p. 942.
COLLIER (D.). — Agronomie-écologie-pédologie. *Bull. A.F.E.S.*, 1957, nº 86, p. 800.
ROBELIN (M.) et COLMET-DAAGE (F.). — Aperçu sur les sols de la Guadeloupe. *Bull. A.F.E.S.*, 1957, nº 86, p. 782.
COLLIER (D.). — Agronomie-Écologie-Pédologie. *Bull. A.F.E.S.*, nº 86, p. 800.

TABLE DES MATIÈRES

I. — Introduction 290

II. — Méthodes et techniques 292

L'analyse granulométrique par densimétrie (Mme S. MÉRIAUX), *Dijon*..... 292
Méthode densimétrique d'analyse granulométrique (J. DELMAS, C. JUSTE et P. de MONTLEAU), *Pont de la Maye* 292
Mise au point de la technique des analyses granulométriques en grande série (J. BORDAS, Mme HUGUET et Y. MEYNADIER), *Avignon* 292
Observations sur l'évaluation au laboratoire de la stabilité structurale (Mme S. MÉRIAUX et B. LAMONTRE), *Dijon* 293
Contribution au dosage des bases échangeables et à la détermination de la capacité d'échange et du taux de saturation du complexe absorbant (J. DELMAS et A. DARTIGUES), *Pont de la Maye* 294
Applications de la thermogravimétrie à l'étude des sols carbonatés (R. GUENNELON), *Avignon* 296
Application des techniques minéralogiques à l'étude des sols (R. GUENNELON), *Avignon* 296
Dosage de Ca et Mg en présence de quantités notables de P (J. DELAS), *Versailles*. 297
Sur une nouvelle méthode colorimétrique de dosage du cuivre dans les plantes (Mlle R. MAZOYER), *Antibes* 299
Analyse des roches dolomitiques par dosage simultané du calcium et du magnésium (Th. et J. DUPUIS), *Lab. géol. I.N.A.* 300
Attaque de la matière organique des sols par l'eau oxygénée et libération de l'azote (L. TURC), *Lab. des sols, Versailles* 300
Essai d'extraction du soufre et du phosphore organique par attaque des sols à l'eau oxygénée (E. M. BASTISSE), *Lab. des sols, Versailles* 301
Étude des matières organiques (L. TURC et Mme LUSINANG), *Lab. des sols, Versailles*. 301
Test Aspergillus Niger (R. CHAMINADE et A. LECOQ), *Versailles*..... 301
Possibilité d'éliminer par une résine anionique le fer et quelques autres cations gênants pour le dosage du calcium et du magnésium par le versenate (Mlle MAZOYER), *Antibes* 302
Dosage de petites quantités de Baryum en solution calcique. Dosage du Magnésium en présence de quantités relativement importantes de calcium (P. LEFÈVRE), *Amiens*. 303

III. — Étude des sols 304

Nouvelles recherches sur l'influence des sels dans la désagrégation des roches (G. PEDRO), *Lab. des sols, Versailles* 304
Mécanisme de la désagrégation du granit et de la lave de Volvic sous l'influence des sels de cristallisation (G. PEDRO), *Lab. des sols, Versailles*..... 304
Mise en évidence d'un effet de dislocation du granite à biotite par traitement à l'eau oxygénée (S. HÉNIN et G. PEDRO), *Lab. des sols, Versailles* 304
La texture des pyrophyllites et son influence sur leur courbe thermique différentielle (S. HÉNIN, J. ORCEL et Mlle CAILLÈRE), *Lab. des sols, Versailles*..... 305
Sur la formation transitoire des montmorillonites dans certaines altérations latéritiques (S. HÉNIN), *Lab. des sols, Versailles*..... 305
Synthèse d'argiles cobaltifères (S. HÉNIN, Mlle CAILLÈRE et S. ESQUEVIN), *Lab. des sols, Versailles*..... 305

Proposition pour normaliser la nomenclature des minéraux argileux (S. HÉNIN et Mlle CAILLÈRE), *Lab. des sols, Versailles* 305
Quelques résultats récents concernant la synthèse des minéraux argileux (S. HÉNIN), *Lab. des sols, Versailles* 306
Étude d'une singularité apparente dans la carrière d'argile kaolinique de la courbe près les Eyzies (Dordogne) (S. HÉNIN et Mlle CAILLÈRE), *Lab. des sols, Versailles.* 306
Structure du sol, *Lab. des sols, Versailles* 306
L'évolution du concept de sol et ses conséquences (S. HÉNIN), *Lab. des sols, Versailles.* 307
Quelques données nouvelles concernant le bilan de la matière organique des sols (S. HÉNIN et L. TURC), *Lab. des sols, Versailles* 308
Influence de prairies temporaires sur la structure d'un sol de limon (G. MONNIER), *Lab. des sols, Versailles* 308
Étude sur le taux d'humidité des parcelles du champ d'expérience de la station agronomique de Grignon (R. MOREL et P. MASSON), *Grignon* 308
Étude de la structure du sol des parcelles du champ d'expérience de la station agronomique de Grignon (R. MOREL et P. MASSON), *Grignon* 308
Les principes généraux de l'économie de l'eau dans les sols, essai d'application aux cas des régions arides (S. HÉNIN), *Lab. des sols, Versailles* 309
Étude de l'érosion des sols (R. GUENNELON), *Avignon* 309
Étude d'une poche d'argile rouge en relation avec une roche-mère calcaire (R. GUENNELON), *Avignon* 309
Relations entre la vitesse de dilution isotopique du phosphore du sol et l'alimentation phosphatée des plantes (R. BLANCHET), *Versailles* 310
Alimentation phosphatée des plantes et étude des réserves phosphoriques des sols (R. BLANCHET), *Versailles* 310
Diverses formes d'adsorption du potassium échangeable dans le sol (R. BLANCHET), *Versailles* 310
Nutrition minérale des plantes et énergie d'adsorption des ions minéraux sur les colloïdes du sol (R. BLANCHET), *Versailles* 311
Dynamique du potassium dans le sol et réaction des sols aux fumures potassiques (R. BLANCHET et A. STRASMAN), *Versailles* 311
Recherches sur l'échange du strontium et du césium dans les sols (G. BARBIER, L. DUVAL et Mlle E. TYSZKIEWICK), *Versailles* 312
Cinquième année d'expérience en cases de végétation de la Station d'Agronomie du Massif Central, essais sur orge de Printemps (D. COLLIER, L. GACHON et M. ROBELIN), *Clermont-Ferrand* 314
Essai de bilan de la production d'azote minéral d'un sol en place (G. LEFÈVRE et G. HIROUX), *Amiens* 315
Diminution de la teneur en humus des terres de limon du Pays de Caux de 1924 à 1957 (E. JOUIS), *Rouen* 315

IV. — Pédologie. Étude de terroirs 317

Cartographie des sols de l'Aisne (J. HÉBERT et J. EHRWEIN), *Laon* 317
Cartographie des zones urbaines (*Lab. des sols, Versailles*) 318
L'érosion éolienne dans la région, Landes de Gascogne (J. DELMAS), *Pont-de-la-Maye*.. 318
Étude et cartographie des sols d'une commune des Côtes-du-Nord : Loguivy-Plougras (M. ROBELIN, M. COPPENET et Mme HÉLIAS), *Clermont-Ferrand* 319
Cartographie au 1/1000 du domaine de la Grande-Ferrade (J. DELMAS, J. THIVEND et G. CAZALET), *Pont-de-la-Maye* 319
Étude pédologique d'une zone de la Hardt située au sud de Neuf-Brisach (P. ANNE et C. SCHENCK), *Colmar* 319
Caractéristiques granulométriques des Loess et sols lœssiques d'Alsace (P. ANNE et H. METTAUER), *Colmar* 320
Les sols du Val de Saône (Mme S. MÉRIAUX et G. GILLY), *Dijon* 320
Sur le lessivage des sols de la plaine de la Saône (Mme S. MÉRIAUX, G. GILLY et B. LAMONTRE), *Dijon* 323
Corrélation entre la capacité d'échange de cations et le taux d'argile des sols alluviaux du Val de Saône (Mme S. MÉRIAUX et G. GILLY), *Dijon* 323
Propriétés structurales des aubues de l'Auxois (P. GOUNY, Mme S. MÉRIAUX et G. GILLY), *Dijon* 324
Vallée de la Seine I. Méandre de Duclair (E. JOUIS, M. T. LECACHEUX et F. CAUCHY), *Rouen* 326
Étude de la Brenne (Mme PÉRIGAUD), *Chateauroux* 325
Étude des sols des communes de Locarn et de Duault (C.-du-N.) (M. COPPENET et Mme E. SPAGNOL), *Quimper* 326
Aperçu sur les sols de la Guadeloupe (M. ROBELIN et F. COLMET-DAAGE), *Clermont-Ferrand* 326
Le Tursan (J. DELMAS et A. DARTIGUES), *Pont-de-la-Maye* 326
Les grands types génétiques de sols du Languedoc (E. SERVAT), *Montpellier* 326
Étude des sols du département des Landes (J. DELMAS et A. DARTIGUES), *Pont-de-la-Maye* 328

V. — Physiologie végétale 329

Recherches sur l'absorption des ions alcalins par les racines (Mlle M. SCHEALTIEL), *Versailles* 329
Nutrition azotée et intensité respiratoire des racines (Mme D. BLANC), *Antibes*..... 331
Incidence du taux d'azote de la solution nutritive sur l'équilibre parties aériennes — racines du végétal cultivé sur sable (Mme D. BLANC), *Antibes*..... 332
Influence des colloïdes humiques sur différentes phases de l'absorption des éléments minéraux par les plantes (R. BLANCHET), *Versailles*..... 333
Observations sur la nutrition phosphatée de la vigne et du prunier en solution nutritive (J. DELMAS et C. MARENAUD), *Pont-de-la-Maye* 333
Étude sur le rôle du phosphore dans la nutrition des pêchers en solution nutritive (J. DELMAS, J. BATS et C. MARENAUD), *Pont-de-la-Maye* 334
Sur le silicium et le phosphore du blé (Mlle L. DELMAS), *Grignon* 335
Action du jus de tomates sur la culture in vitro de tissus végétaux (Mme G. DUPLESSY-GRAILLOT), *Grignon*..... 335

VI. — Amendements 336

1. AMENDEMENTS CALCAIRES 336

Le problème du chaulage à la lumière de la science agronomique moderne (M. COPPENET), *Quimper* 336
Modifications de la chaux et de la magnésie échangeable sous l'action des laitiers de Hauts-Fourneaux et des calcaires marins (M. COPPENET et Mme HÉLIAS), *Quimper*. 336

2. AMENDEMENTS HUMIQUES 339

Fumure organique et fumure azotée de la betterave à sucre (G. BARBIER), *Versailles*. 339
Essais en vases de végétation sur l'influence des matières humiques sur la nutrition minérale des végétaux (R. CHAMINADE), *Versailles* 341
Enfouissement direct de matières organiques diverses (P. BOISCHOT et Mme G. SIMON), *Versailles* 342
Enfouissement direct des pailles (Mme G. SIMON), *Versailles* 342
De l'emploi du superphosphate sur fumier (G. LEFÈVRE), *Amiens*..... 342
Étude expérimentale de l'action d'un calcaire broyé sur un sol du Morvan (Mme S. MÉRIAUX), *Dijon* 342
Résultats de quelques analyses d'engrais verts (G. LEFÈVRE et G. HIROUX), *Amiens*. 343
Actions comparées du fumier et de la paille en grande culture (P. ANNE et R. MAROCKE), *Colmar* 347
Restitution de la matière organique au sol en fonction de la fumure minérale du maïs (J. DELMAS et G. THEILLER), *Pont-de-la-Maye*..... 348

VII. — Fertilisation 350

1. EXPÉRIMENTATION GÉNÉRALE 350

Étude de l'épuisement du sol en climat semi-aride (P. ANNE et R. MAROCKE), *Colmar*. 350
Les connaissances actuelles sur la fertilisation en Auvergne (D. COLLIER et L. GACHON), *Clermont-Ferrand* 351
Formes d'azote et doses de Potasse (G. LEFÈVRE et G. HIROUX), *Amiens* 352
Importance de trois des facteurs essentiels de la productivité des blés d'automne cultivés dans la vallée de la Garonne (M. MALTERRE et S. FIORAMONTI), *Toulouse*.. 354
Recherches sur les principaux facteurs limitants du rendement du blé et du maïs (J. DULAC), *Montpellier* 355
Influence des fumures phosphatées et potassiques sur le rendement des pommes de terre tardives (Ackersegen) (M. COPPENET), *Quimper*..... 359
Résultats de quatre années d'expériences sur prairie temporaire (H. MALTERRE et J. DUMAIL), *Toulouse* 360
Essais de fumures minérales et organiques sur prairie temporaire (S. FIORAMONTI et J. R. MARTY), *Toulouse*..... 363
Fertilisation sur prairies permanentes fauchées en Auvergne et en Forez (D. COLLIER et L. GACHON), *Clermont-Ferrand* 364
Fumure des sols à houblon de Basse-Alsace (R. MAROCKE), *Colmar* 364
Influence des engrais et du fumier sur la qualité des récoltes (J. GUÉRILLOT et Mme J. GUÉRILLOT-VINET), *Grignon*..... 366
Expériences de longue durée de fumure de la vigne (J. LIWERANT et J. R. MARTY), *Toulouse* 366
Fumure azotée et potassique de la pomme de terre à fécule (G. LEFÈVRE et G. HIROUX), *Amiens* 370

2. FUMURE AZOTÉE 372

Essai d'azote sur blé à l'automne (J. HÉBERT), *Laon* 372
Essai d'utilisation de l'urée et de l'urée formaldéhyde en couverture sur blé d'hiver (E. JOLIVET), *Quimper* 373
Influence d'un apport d'azote avant la floraison sur l'alimentation du maïs (J. DELMAS et J. BATS), *Pont-de-la-Maye* 374
La fumure azotée échelonnée semi-tardive et tardive du blé (P. BOISCHOT), *Versailles*. 376
Essais de fumure azotée sur betterave sucrière (G. LEFÈVRE et G. HIROUX), *Amiens*. 376
Fumure azotée du maïs-grain en Beauce (L. DEPARDON et P. BURON), *Blois* 377
Fumure azotée du riz (Mme F. HUGUET), *Avignon* 378
Effets comparés de l'azote sous diverses formes sur betterave 1/2 sucrière en Beauce (L. DEPARDON et P. BURON), *Blois* 380
La fumure azotée des productions fourragères (L. GACHON), *Clermont-Ferrand* 381
Essai de fertilisation azotée sur pommes de terre (P. GOUNY et Mme S. MÉRIAUX), *Dijon* 382

3. FUMURE PHOSPHATÉE 383

Action et arrière-action des engrais phosphatés en Beauce (L. DEPARDON et P. BURON), *Blois* 383
Expérience sur l'action et l'arrière-action des engrais phosphatés (S. TROCMÉ), *Versailles* 384
Évolution des engrais phosphatés (Super et phospal) en sol cultivé (P. GOUNY et H. DENIZOT), *Dijon* 385
Sur le rôle des microorganismes vis-à-vis de l'évolution de la solubilité dans les acides et les bases dilués du phosphore apporté au sol sous forme de phosphate disodique ou d'engrais phosphatés industriels (J. GUÉRILLOT et R. BAZIER), *Grignon* 387
Étude de l'évolution des diverses formes de phosphore des sols additionnés d'engrais phosphatés (J. GUÉRILLOT et R. BAZIER), *Grignon* 387
Étude comparée de l'arrière-action de divers engrais (J. GUÉRILLOT et R. BAZIER), *Grignon* 388
Évolution des phosphates hyposolubles dans les sols de craie (E. RADET), *Châlons-sur-Marne* 388
Effets comparés de l'acide phosphorique sous diverses formes sur blé en Beauce (L. DEPARDON et P. DURON), *Blois* 388
Fumure phosphatée du riz (Mme F. HUGUET), *Avignon* 389

4. FUMURE POTASSIQUE 393

Fixation de la fumure potassique (P. BOISCHOT et Mme G. SIMON), *Versailles* 393
Évolution des engrais potassiques en sol cultivé (P. GOUNY et H. DENIZOT), *Dijon*. 393
Comparaison de l'action du bicarbonate de potasse à celle du chlorure et du sulfate de potassium dans les sols de trois régions naturelles : Beauce, Perche et Sologne (P. BURON), *Blois* 395
Expérience sur l'action et l'arrière-action des engrais potassiques (S. TROCMÉ), *Versailles* 397
Fumure potassique du blé en Beauce (L. DEPARDON et P. BURON), *Blois* 399
Redressement d'une carence potassique du prunier d'Ente par la fumure profonde (J. LIWERANT), *Toulouse* 399

5. ENGRAIS DIVERS 401

Le sodium dans la fertilisation des prairies (E. RADET), *Châlons-sur-Marne* 401

VIII. — Oligoéléments 403

Recherches sur les conséquences éventuelles d'applications répétées de borate (J. CHABANNES), *Versailles* 403
Carences en bore dans le limon des plateaux de la Seine-Maritime (E. JOUIS), *Rouen*. 405
Études sur la toxicité du bore chez le houblon (R. MAROCKE), *Colmar* 406
Importance du manganèse et du cuivre dans la croissance des céréales (M. COPPENET), *Quimper* 408
Traitement de la carence en manganèse sur betterave rouge (G. THEILLER et J. DELMAS), *Pont-de-la-Maye* 408
Études sur la carence en magnanèse (M. COPPENET et Mme J. CALVEZ), *Quimper* ... 409
Action de la magnésie et d'oligo-éléments sur betteraves en Sologne (L. DEPARDON et P. BURON), *Blois* 411
Répercussions de la carence magnésienne sur la physiologie et la production du pommier (R. BLANCHET), *Versailles* 413
Observations sur le traitement de la chlorose des poiriers (J. CHABANNES, A. DUPRAT et S. TROCMÉ), *Versailles* 413

IX. — Divers 414

Le problème du travail du sol (S. HÉNIN), *Lab. des Sols, Versailles* 414
Suggestions en vue de la création d'une commission pour la sauvegarde de notre terre (S. HÉNIN), *Lab. des Sols, Versailles* 414
Agronomie, Écologie et pédologie (D. COLLIER), *Clermont-Ferrand* 414
Isolement d'une antivitamine D des parties aériennes des végétaux (Mme A. GUÉRILLOT-VINET et R. BAZIER), *Grignon* 414
Isolement d'une substance rachitigène des végétaux (Mme A. GUÉRILLOT-Vinet), *Grignon* 415
Interaction du 2-4-D, de la vitamine K5 et de l'acide nicotinique sur les plantules de blé cultivées in vitro (Mme G. DUPLESSY-GRAILLOT), *Grignon* 415
Étude de l'action antirachitique ou rachitigène de nouveaux produits naturels ou synthétiques chez le poulet et chez le rat (Mme A. GUÉRILLOT-VINET), *Grignon* .. 415
Le problème du piétin échaudage des céréales dans les sols bretons (J. PONCHET et M. COPPENET), *Quimper* 416
Essais de lutte contre la gale commune de la pomme de terre (M. GUNTZ et M. COPPENET), *Quimper* 416
Contribution de la science du sol aux études préhistoriques (J. DELMAS), *Pont-de-la-Maye* 416

X. — Bibliographie 417

TABLE PAR NOMS D'AUTEURS

ANNE (P.) :
Etude pédologique d'une zone de la Hardt située au sud de Neuf-Brisach 319
Caractéristiques granulométriques de Loess et sols loessiques d'Alsace 320
Actions comparées du fumier et de la paille en grande culture..... 347
Étude de l'épuisement du sol en climat semi-aride 350
BARBIER (G.) :
Recherches sur l'échange du Strontium et du Césium dans les sols..... 312
Fumure organique et fumure azotée de la betterave à sucre..... 339
BASTISSE (E. M.) :
Essai d'extraction du Soufre et du Phosphore organique par attaque des sols à l'eau oxygénée 301
BATS (J.) :
Voir DELMAS (J.)..... 334-374
BAZIER (R.) :
Voir GUÉRILLOT (J.)..... 387-387-388
Voir GUÉRILLOT-VINET (Mme A.) 414-415
BIRAT (P.) :
Voir HENIN 305
BLANC (Mme D.) :
Nutrition azotée et intensité respiratoire des racines 331
Incidence du taux d'azote de la solution nutritive sur l'équilibre parties aériennes-racines du végétal cultivé sur sable 332
BLANCHET (R.) :
Relation entre la vitesse de dilution isotopique du phosphore du sol et l'alimentation phosphatée des plantes..... 310
Alimentation phosphatée des plantes et étude des réserves phosphoriques des sols.. 310
Diverses formes d'adsorption du potassium échangeable dans le sol..... 310
Nutrition minérale des plantes et énergie d'adsorption des ions minéraux sur les colloïdes du sol 311
Dynamique du Potassium dans le sol et réaction des sols aux fumures potassiques. 311
Influence des colloïdes humiques sur différentes phases de l'absorption des éléments minéraux par les plantes..... 333
Répercussions de la carence magnésienne sur la physiologie et la production du pommier. 413
BOISCHOT (P.) :
Enfouissement direct de matières organiques diverses 342
La fumure azotée échelonnée semi-tardive et tardive du blé..... 376
Fixation de la fumure potassique 393
BORDAS (J.) :
Mise au point de la technique des analyses granulométriques en grande série..... 392
BURON (P.) :
Voir DEPARDON (L.)..... 377-380-383-388-399-411
Comparaison de l'action du bicarbonate de potasse à celle du chlorure et du sulfate de potassium dans les sols de trois régions naturelles : Beauce, Perche et Sologne. 395
CAILLÈRE (Mlle) :
Voir HÉNIN (S.)..... 305-305-305-305-306
CALVEZ (Mme S.) :
Voir COPPENET (M.) 409
CAUCHY (F.) :
Voir JOUIS (E.) 325
CAZALET (G.) :
Voir DELMAS (J.)..... 319
CHABANNES (J.) :
Recherches sur les conséquences éventuelles d'applications répétées de borate 403
Observations sur le traitement de la chlorose des poiriers 413
CHAMINADE (R.) :
Test aspergillus Niger 301
Essais en vases de végétation sur l'influence des substances humiques sur la nutrition minérale des végétaux 341

COLLIER (D.) :
Cinquième année d'expérience en cases de végétation de la Station d'agronomie du Massif Central ; essais sur orge de printemps 314
Les connaissances actuelles sur la fertilisation en Auvergne 351
Fertilisation sur prairies permanentes fauchées en Auvergne et Forez 364
Agronomie, Écologie et Pédologie 414
COLMET-DAAGE (F.) :
Voir ROBELIN (M.) 326
COPPENET (M.) :
Voir ROBELIN (M.) 319
Étude des sols des communes de Locarn et de Duault (C.-du-N.) 326
Le problème du chaulage à la lumière de la science agronomique moderne 336
Modifications de la chaux et de la magnésie échangeable sous l'action des laitiers de Hauts-Fourneaux et des calcaires marins 336
Influence des fumures phosphatées et potassiques sur le rendement des pommes de terre tardives (Ackersegen) 359
Importance du manganèse et du cuivre dans la croissance des céréales 408
Études sur la carence en manganèse 409
Voir PONCHET (J.) 416
Voir GUNTZ (M.) 416
DARTIGUES (A.) :
Voir DELMAS (J.) 294-326-328
DELAS (J.) :
Dosage de Ca et Mg en présence de quantités notables de P 297
DELMAS (Mlle L.) :
Sur le Silicium et le phosphore du blé 335
DELMAS (J.) :
Méthode densimétrique d'analyse granulométrique 292
Contribution au dosage des bases échangeables et à la détermination de la capacité d'échange et du taux de saturation du complexe absorbant 294
L'érosion éolienne dans la région Landes de Gascogne 318
Cartographie au 1/1000e du domaine de la Grande Ferrade 319
Le Tursan 326
Étude des sols du département des Landes 328
Observations sur la nutrition phosphatée de la vigne et du prunier en solution nutritive 333
Étude sur le rôle du Phosphore dans la nutrition des Pêchers en solution nutritive. 334
Restitution de matière organique au sol en fonction de la fumure minérale du maïs. 348
Influence d'un apport d'azote avant la floraison sur l'alimentation du maïs 374
Voir G. THEILLER 408
Contribution de la science du sol aux études préhistoriques 416
DENIZOT (H.) :
Voir GOUNY (P.) 385-393
DEPARDON (L.) :
Fumure azotée du maïs grain en Beauce 377
Effets comparés de l'azote sous diverses formes sur betterave 1/2 sucrière en Beauce 380
Action et arrière-action des engrais phosphatés en Beauce 383
Effets comparés de l'acide phosphorique sous diverses formes sur blé en Beauce 388
Fumure potassique du blé en Beauce 399
Action de la magnésie et d'oligo-éléments sur betteraves en Sologne 411
DULAC (J.) :
Recherches sur les principaux facteurs limitants du rendement du blé et du maïs .. 355
DUMAIL (S.) :
Voir MALTERRE (H.) 360
DUPLESSY-GRAILLOT (Mme G.) :
Action du jus de tomates sur la culture in vitro de tissus végétaux 335
Interaction du 2-4-D, de la vitamine K_5 et de l'acide nicotinique sur les plantules de blé cultivées in vitro 415
DUPRAT (A.) :
Voir CHABANNES (J.) 413
DUPUIS (Th. et J.) :
Analyse des roches dolomitiques par dosage simultané du calcium et du magnésium. 300
DUVAL (L.) :
Voir BARBIER (G.) 312
EHRWEIN (J.) :
Voir HÉBERT (J.) 317
ESQUEVIN (J.) :
Voir HÉNIN (S.) 305
FIORAMONTI (S.) :
Voir MALTERRE (H.) 354
Essais de fumures minérales et organiques sur prairie temporaire 363

GACHON (L.) :
Voir COLLIER (D.) 314-351-364
La fumure azotée des productions fourragères 381
GILLY (G.) :
Voir MÉRIAUX (Mme S.) 320-323-323
Voir GOUNY (P.) 324
GOUNY (P.) :
Propriétés structurales des aubues de l'Auxois 324
Essai de fertilisation azotée sur pommes de terre 382
Évolution des engrais phosphatés (Super et phospal) en sol cultivé 385
Évolution des engrais potassiques en sol cultivé 393
GUENNELON (R.) :
Application de la thermogravimétrie à l'étude des sols carbonatés 296
Application des techniques minéralogiques à l'étude des sols 296
Étude de l'érosion des sols 309
Étude d'une poche d'argile rouge en relation avec une roche-mère calcaire 309
GUÉRILLOT (J.) :
Influence des engrais et du fumier sur la qualité des récoltes 366
Sur le rôle des microorganismes vis-à-vis de l'évolution de la solubilité dans les acides et les bases dilués du phosphore apporté au sol sous forme de phosphate disodique ou d'engrais phosphatés industriels 387
Étude de l'évolution des diverses formes de phosphore des sols additionnés d'engrais phosphatés 387
Étude comparée de l'arrière-action de divers engrais 388
GUÉRILLOT-VINET (Mme A.) :
Voir GUÉRILLOT 366
Isolement d'une antivitamine D des parties aériennes des végétaux 414
Isolement d'une substance rachitigène des végétaux 415
Étude de l'action antirachitique ou rachitigène de nouveaux produits naturels ou synthétiques chez le poulet et chez le rat 415
GUNTZ (M.) :
Essai de lutte contre la gale commune de la pomme de terre 416
HÉBERT (J.) :
Cartographie des sols de l'Aisne 317
Essai d'azote sur blé à l'automne 372
HÉLIAS (Mme) :
Voir ROBELIN (M.) 319
Voir COPPENET (M.) 336
HÉNIN (S.) :
Mise en évidence d'un effet de dislocation du granit à biotite par traitement à l'eau oxygénée 304
La texture des pyrophyllites et son influence sur leur courbe thermique différentielle. 305
Sur la formation transitoire de montmorillonite dans certaines altérations latéritiques. 305
Synthèse d'argiles cobaltifères 305
Propositions pour normaliser la nomenclature des minéraux argileux 305
Quelques résultats récents concernant la synthèse des minéraux argileux 306
Étude d'une singularité apparente dans la carrière d'argile kaolinique de la Combe près les Eyzies (Dordogne) 306
L'évolution du concept de sol et ses conséquences 307
Quelques données nouvelles concernant le bilan de la matière organique des sols ... 308
Les principes généraux de l'économie de l'eau dans les sols, essai d'application aux cas des régions arides 309
Le problème du travail du sol 414
Suggestion en vue de la création d'une commission pour la sauvegarde de notre terre. 414
HIROUX (G.) :
Voir LEFÈVRE (G.) 315-343-352-370-376
HUGUET (Mme F.) :
Voir BORDAS (J.) 292
Fumure azotée du riz 378
Fumure phosphatée du riz 389
JOLIVET (E.) :
Essai d'utilisation de l'urée et de l'urée formaldéhyde en couverture sur blé d'hiver ... 373
JOUIS (E.) :
Diminution de la teneur en humus des terres de limon du pays de Caux de 1924 à 1957 315
Vallée de la Seine I. Méandre de Duclair 325
Carences en bore dans le limon des plateaux de la Seine-Maritime 405
JUSTE (C.) :
Voir DELMAS (J.) 292
LAMONTRE (B.) :
Voir MÉRIAUX (Mme S.) 293-323
LECACHEUX (M. T.) :
Voir JOUIS (E.) 325

LECOQ (A.) :
Voir CHAMINADE (R.) 301
LEFÈVRE (G.) :
Essai de bilan de la Production d'azote minéral d'un sol en place 315
De l'emploi du superphosphate sur fumier 342
Résultats de quelques analyses d'engrais verts 343
Formes d'Azote et doses de Potasse 352
Fumure azotée et potassique de la pomme de terre à fécule 370
Essai de fumure azotée sur betterave sucrière 376
LEFÈVRE (P.) :
Dosage de petites quantités de Baryum en solution calcique. Dosage du magnésium en présence de quantités relativement importantes de calcium 303
LIWERANT (J) :
Expériences de longue durée de fumure de la vigne 366
Redressement d'une carence potassique du prunier d'Ente par la fumure profonde 399
LUSINANG (Mme) :
Voir TURC 301
MALTERRE (H.)
Importance de trois des facteurs essentiels de la productivité des blés d'automne cultivés dans la vallée de la Garonne 354
Résultats de quatre années d'expériences sur prairie temporaire 360
MARENAUD (C.) :
Voir DELMAS (J.) 333-334
MAROCKE (R.) :
Voir ANNE (P.) 347-350
Fumure des sols à houblon de Basse-Alsace 364
Études sur la toxicité du bore chez le houblon 406
MARTY (J. R.) :
Voir FIORAMONTI (S.) 363
Voir LIWERANT (J.) 366
MASSON (P.) :
Voir MOREL (R.) 308-308
MAZOYER (Mlle R.) :
Sur une nouvelle méthode colorimétrique de dosage du cuivre dans les plantes 299
Possibilité d'éliminer par une résine anionique le fer et quelques autres cations gênants pour le dosage du calcium et du magnésium par le Versénate 302
MÉRIAUX (Mme S.) :
L'analyse granulométrique par densimétrie 292
Observation sur l'évaluation au laboratoire de la Stabilité Structurale 293
Les sols du Val de Saône 320
Sur le lessivage des sols de la plaine de la Saône 323
Corrélation entre la capacité d'échange de cations et le taux d'argile des sols alluviaux du Val de Saône 323
Voir GOUNY (P.) 324-382
Étude expérimentale de l'action d'un calcaire broyé sur un sol du Morvan 342
METTAUER (H.) :
Voir ANNE (P.) 320
MEYNADIER (Y.) :
Voir BORDAS (J.) 292
MONNIER (G.) :
Influence de prairies temporaires sur la structure d'un sol de limon 308
MONTLEAU (P. de) :
Voir DELMAS (J.) 292
MOREL (R.) :
Étude sur le taux d'humidité des parcelles du champ d'expérience de la Station Agronomique de Grignon 308
Étude de la structure du sol des parcelles du champ d'expérience de la Station Agronomique de Grignon 308
ORCEL (J.) :
Voir HÉNIN (S.) 305
PEDRO (G.) :
Nouvelles recherches sur l'influence des sels dans la désagrégation des roches 304
Mécanisme de la désagrégation du granit et de la lave de Volvic sous l'influence des sels de cristallisation 304
Voir HÉNIN (S.) 304
PÉRIGAUD (Mme) :
Étude de la Brenne 326
PONCHET (J.) :
Le problème du piétin échaudage des céréales dans les sols bretons 416
RADET (E.) :
Évolution des phosphates hyposolubles dans les sols de craie 388
Le sodium dans la fertilisation des prairies 401

ROBELIN (M.) :
Voir COLLIER (D.) 314
Étude et cartographie des sols d'une commune des Côtes-du-Nord : Loguivy-Plougras. 319
Aperçu sur les sols de la Guadeloupe 326
SCHEALTIEL (Mlle M.) :
Recherches sur l'absorption des ions alcalins par les racines 329
SCHENCK (C.) :
Voir ANNE (P.) 319
SERVAT (E.) :
Les grands types génétiques de sols, du Languedoc..... 327
SIMON (Mme G.) :
Voir BOISCHOT (P.)..... 342-393
Enfouissement direct des pailles..... 342
SPAGNOL (Mme E.) :
Voir COPPENET (M.) 326
STRASMAN (A.) :
Voir BLANCHET (R.) 311
THEILLER (G.) :
Voir DELMAS (J.)..... 348
Traitement de la carence en manganèse sur betterave rouge 408
THIVEND (J.) :
Voir DELMAS (J.)..... 319
TROCMÉ (S.) :
Expérience sur l'action et l'arrière-action des engrais phosphatés..... 384
Expérience sur l'action et l'arrière-action des engrais potassiques..... 397
Voir CHABANNES (J.) 413
TURC (L.) :
Attaque de la matière organique des sols par l'eau oxygénée et libération de l'azote. 300
Étude des matières organiques..... 301
Voir HÉNIN (S.)..... 308
TYSZKIEWICK (Mlle E.) :
Voir BARBIER (G.)..... 312

Le Directeur-Gérant : B. LACLAVIÈRE.

Imprimerie Bussière à Saint-Amand (Cher), France. — 10-2-1959.
Dépôt légal : 1er trimestre 1959 *N° d'impression : 265*

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE AGRONOMIQUE DE L'ORLÉANAIS

PAR

L. DEPARDON et P. BURON

Station d'Agronomie, Blois.

PLAN DU MEMOIRE

I. — Limites. relief.

II. — Climatologie.

III. — Aperçu géologique et pédologique.

IV. — Etude analytique des sols.

V. — Cultures-Amendements et fumures.

I. — LIMITES — RELIEF

L'Orléanais est une région du département du Loiret, occupée, pour une fraction très importante, par la forêt d'Orléans, celle-ci couvrant environ 35 000 hectares. Il s'agit d'une vaste plaine qui se situe entre le Val de Loire, la Beauce, le Gâtinais et la Puisaye. L'absence de relief et la présence, généralement à une faible profondeur, d'une couche d'argile ou de marne, ont pour conséquence, dans une proportion notable de ces terres, une perméabilité insuffisante qui les rend froides et humides et se traduit par une végétation tardive.

Indépendamment de la zone agricole proprement dite, de larges clairières, qui existent entre les futaies ou les taillis de la forêt d'Orléans, sont soumises à la culture.

D'une façon générale, cette région est relativement pauvre, sauf dans la banlieue d'Orléans où le vignoble et les cultures maraîchères et arbustives donnent, entre les mains de petits propriétaires, d'excellents rendements.

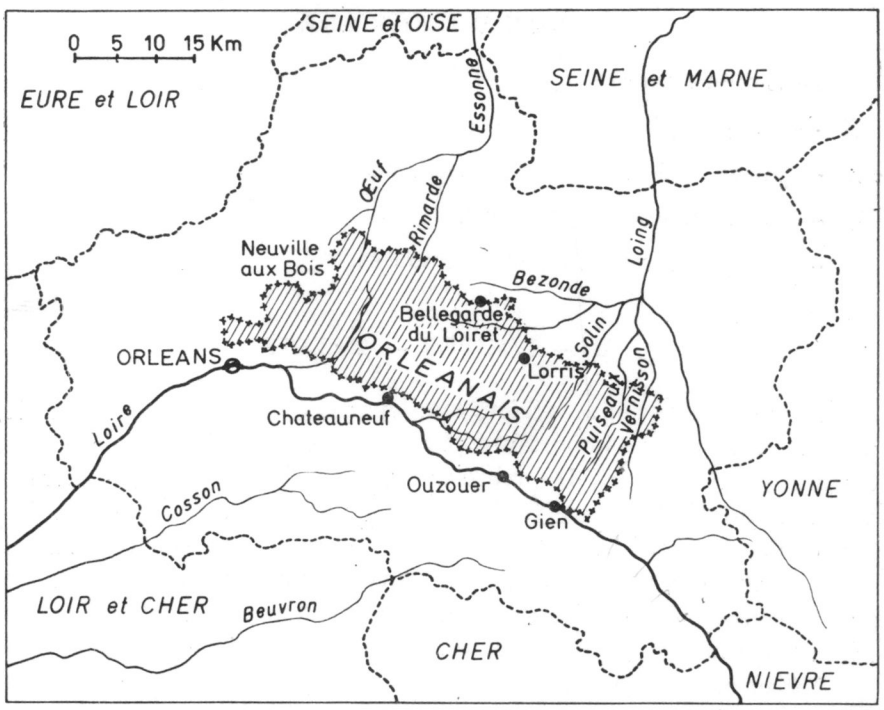
II. — CLIMATOLOGIE

Voici les caractéristiques climatiques moyennes établies par la Station météorologique de Bricy située à une quinzaine de kilomètres au nord-ouest d'Orléans :

	Printemps	Été	Automne	Hiver	Année entière
Hauteurs de pluies....	152 mm	169 mm	178 mm	133 mm	632 mm
Températures moyennes	10°2	17°8	11°1	4°	10°75
Insolation (heures)....	530 h	673 h	365 h	295 h	1773 h

D'autre part, d'après l'O. N. M., pour une période de 40 ans, allant de 1891 à 1930, la pluviosité moyenne annuelle atteignait les chiffres suivants :

à Combreux (localité située sensiblement au centre de l'Orléanais) 634 m/m à Nogent sur Vernisson (localité située à l'est aux confins de l'Orléanais et du Gâtinais) : 720 m/m.



III. — APERÇU GEOLOGIQUE ET PEDOLOGIQUE

Les sols de l'Orléanais sont à rattacher à 2 formations géologiques : les sables et marnes de l'Orléanais (m^1) les sables et argiles de Sologne (m^2).

Les sables et marnes de l'Orléanais, qui reposent sur le calcaire de

Beauce, sont, dans la plus grande partie de cette région, recouverts par les sables et argiles de Sologne.

Les marnes sont très calcaires, généralement blanches, noduleuses ou farineuses, par places bariolées de parties vertes argileuses.

Les sables de l'Orléanais sont vaguement stratifiés, leur stratification étant parfois entrecroisée ; ils ont souvent une teinte rouillée ; ils contiennent, avec des éléments granitiques, quelques grains calcaires.

Les sables et argiles de Sologne, dont la formation est postérieure à celle des sables et marnes de l'Orléanais, sont constitués soit de sable proprement dit à base de quartz et de feldspath, soit d'argiles de teintes variées ; les grains de quartz sont hyalins ou laiteux.

Si l'élément granitique est tout à fait prédominant, on rencontre également, surtout sur la bordure Sud-est, des silex d'origine régionale ; le calcaire y fait complètement défaut. L'hétérogénéité des éléments, leur faible usure s'expliquent par un écoulement lent, sur une surface large et peu inclinée, de boues provenant de la base des hauteurs granitiques du Massif Central.

Du point de vue pédologique, les sols dérivés des sables et argiles de Sologne, sont, pour la plupart, des podzols ou des sols podzoliques ; la teneur en argile et en fer libre des horizons d'accumulation y dépasse fréquemment 5 fois celle de l'horizon lessivé.

Si, parfois, on trouve dans leur horizon d'accumulation de l'alios, le plus souvent, celui-ci est remplacé par des concrétions ferrugineuses noirâtres pouvant atteindre la grosseur d'une noix, assez dures mais discontinues.

Les sols dérivés des sables et marnes de l'Orléanais, par contre, peuvent être classés dans le groupe des sols bruns moyennnement ou faiblement lessivés (types N^1/V_2 ou N_1).

IV. — ETUDE ANALYTIQUE DES SOLS

Une quarantaine de prélèvements, faits en des points aussi représentatifs que possible de l'ensemble de l'Orléanais, permettent de se faire une idée satisfaisante de la nature et de la composition de ces sols.

Leur classement est établi en fonction de la formation géologique à laquelle ils se rattachent.

1° Analyse physique.

Les différents fractionnements signalés ont été obtenus par la méthode internationale.

Les sols dérivés des sables et argiles de Sologne ne renferment qu'une proportion de cailloux et graviers (éléments retenus par le tamis à trous

ronds de 2 m/m) inférieure à 10 pour cent, la terre fine qui franchit ce même tamis étant, par contre, caractérisée par la prédominance très nette du sable grossier (particules de 0,2 mm à 2 m/m) ce fractionnement en représentant, en moyenne 65 pour cent, le sable fin (particules de 0,02 mm à 0,2 mm) s'élevant d'autre part, à 20 pour cent du total.

Quant à l'argile (particules inférieures à 2/1 000 de m/m) elle n'atteint pas, pour 22 terres examinées, la moyenne de 5 pour cent de la terre/fine.

Cette proportion élevée, à peu près constante, d'éléments grossiers dans la couche végétale, se traduit par une perméabilité excessive, lorsque les horizons sous-jacents sont de même nature, mais, fréquemment, la couche superficielle sableuse repose, à une profondeur relativement faible sur de l'argile de l'horizon d'accumulation ou de la roche mère ; dans ce cas, surtout si le substratum est la roche mère, l'imperméabilité est la règle.

Les sols sablonneux sur une notable épaisseur, trop « filtrants » sont évidemment très sensibles à la sécheresse ; la présence d'un alios continu, quoique assez rare, constitue, d'autre part, dans ces sols, un obstacle à la pénétration en profondeur des racines.

Les sols dérivés des sables et marnes de l'Orléanais, sont, du point de vue physique, nettement différents des précédents. Leur terre fine (terre totale — cailloux et graviers), qui représente environ 90 pour cent de la terre totale, est caractérisée par la prédominance des éléments fins (argile, limon et sable fin) et par la présence habituelle de calcaire ; leur perméabilité est fréquemment insuffisante.

La détermination de la capacité de rétention des sols pour l'eau effectuée selon la technique indiquée par HENIN, a bien mis en évidence la relation existant entre leur teneur en colloïdes et les quantités d'eau qu'ils sont susceptibles de retenir, ainsi que cela ressort des quelques résultats ci-après :

	Argile ‰	Matières organiques ‰	Capacité de rétention %
Sables et argiles de Sologne	33	12	9,1
	52	15	11,8
Sables et marnes de l'Orléanais ...	143	27	19
	236	29	23,7

2° Réaction — Besoin en chaux.

Tous les sols dérivés des sables et argiles de Sologne étaient acides avant d'être soumis à la culture et le sont encore actuellement, dans l'ensemble, du fait des pertes importantes de calcium qu'ils subissent par lessivage sous l'action des eaux de pluie.

Néanmoins, leur besoin en chaux (1) n'est pas élevé, en raison de la faible valeur de leur complexe absorbant argilo-humique ; on peut esti-

mer que, pour la plupart des sols cultivés, ce besoin n'excède pas 0,50 pour mille, ce qui nécessite, pour les amener à la neutralité (pH 7), en tablant sur 3 000 tonnes de sol végétal par hectare, l'apport de 1 500 kg de chaux pure ou de 3 000 kg de calcaire pur.

Les pertes annuelles, exprimées en carbonate de chaux, étant voisines de 1 000 kg par hectare, il est bien évident qu'elles doivent être compensées, ce qui nécessite soit une majoration de la quantité de calcaire correspondant au besoin en chaux, soit un renouvellement fréquent des chaulages.

En ce qui concerne les sables et marnes de l'Orléanais, leur réaction généralement alcaline dispense le plus souvent d'avoir recours à cette pratique ; lorsqu'ils sont nettement acides, étant donné la proportion élevée de colloïdes qu'ils renferment, le besoin en chaux devient important (1,48 pour 1 000 à Bellegarde, soit près de 9 000 kg de calcaire par hectare).

3° Azote.

Si l'on se base sur une teneur souhaitable en azote de 1 pour mille de terre totale, on peut considérer que les sols dérivés des sables et marnes de l'Orléanais sont convenablement pourvus à cet égard.

En revanche, tous les sols dérivés des sables et argiles de Sologne, examinés, sont insuffisamment pourvus ou pauvres en azote (teneur moyenne pour 1 000 de terre fine, pour 22 échantillons : 0,72).

La détermination du carbone (2) sur 4 échantillons typiques de sols de chacune des deux formations géologiques a mis en évidence, un rapport carbone/azote normal ce qui implique l'existence de propriétés biologiques satisfaisantes.

4° Acide phosphorique assimilable.

L'acide phosphorique a été déterminé par la méthode à l'acide citrique à 2 p. 100, au dessous d'une teneur de 5 p. 100 en carbonate de chaux, la méthode Shlœsing de Sigmond étant appliquée dans les autres cas.

De l'examen du tableau concernant les sols dérivés des sables et argiles de Sologne, ressort leur teneur insuffisante, sinon leur nette pauvreté en acide phosphorique dit assimilable.

Si l'on table sur la norme jugée souhaitable de 0,30 p. 1 000 de terre totale, les besoins paraissent, en effet, assez grands.

Toutefois, étant donné que le taux d'acide phosphorique dans la solution du sol, qui est une caractéristique de chaque terre, est sous la dépendance du pouvoir fixateur du complexe absorbant à son égard, il a paru intéressant de compléter le dosage classique de cet élément par l'application à quelques sols de la méthode DEMOLON-BOISCHOT (3) destinée

	Terre fine pour 1 000	pH	Calcaire	Argile	Limon	Sable fin	Sable grossier	Azote	Acide phospho rique assimil	Bases échangeables			Besoin en Chaux	Potasse échang. p. 1 000 d'argile
										Potasse	Magnés.	Chaux		
	Composition pour 1 000 de terre fine													
	Sables et argiles de Sologne													
Bellegarde : *Les Baillis le Couvent*	890	7,3	traces	64	116	230	556	0,56	0,42	0,16	0,26	2,75		2,5
Bellegarde : *La Barraudière*	940	6,4	0	68	118	223	558	0,84	0,16	0,36	0,32	1,68	0,45	5,3
Beauchamp : à 500 m en direct. de Bellegarde	970	6,2	0	32	54	226	660	0,59	0,11	0,27	0,23	0,84	0,35	8,4
Lorris : à 2 km en direct. de Bellegarde	840	6,4	0	59	73	232	597	0,78	0,16	0,26	0,33	1,34	0,36	4,4
Bouzy : Carrefour des routes de Lorris à St-Aignan et de Bouzy à Châtenoy	960	6,0	0	38	63	126	736	0,81	0,09	0,22	0,26	0,43	0,24	5,8
Les Choux : à 4 km en direct. de Dampierre-en-Burly	900	5,7	0	57	129	137	633	0,90	0,09	0,31	0,23	0,67	0,88	5,4
Les Choux : à 1 km en direct. de Dampierre	920	5,6	0	20	41	129	780	0,56	0,07	0,20	0,23	0,50	0,56	10,0
Langesse : à 1 km en direct. de Le Moulinet	880	6,0	0	43	87	209	625	0,87	0,16	0,20	0,23	0,76	0,43	4,7
Le Moulinet : à 500 m en direct. de Montereau	900	6,0	0	77	176	279	440	0,78	0,04	0,22	0,23	1,0	0,57	2,9
Montereau : à 500 m en direct. de Le Moulinet	950	6,1	0	59	84	247	584	0,62	0,05	0,17	0,26	1,13	0,55	2,9
Montereau : à 2 km en direct. de Lorris	960	5,8	0	35	64	284	594	0,76	0,09	0,20	0,20	0,59	0,47	5,7
Lorris : à 2 km en direct. de Montereau	960	5,8	0	23	37	98	788	0,62	0,19	0,18	0,15	0,63	0,51	7,8
Sury-aux-Bois : *Les Herses*	920	6,1	0	28	43	99	799	0,81	0,08	0,18	0,20	0,63	0,30	6,4
Sury-aux-Bois : à 500 m en direct. de Bellegarde	890	6,3	0	63	57	129	721	0,73	0,11	0,19	0,30	1,09	0,35	3,0
Combreux : à 1 km en direct. de Sury	890	6,1	0	52	111	158	650	0,70	0,07	0,19	0,23	1,0	0,49	3,7

Vitry-aux-Loges : à 1 km en direct de Châteauneuf-sur-Loire	960	6,0	0	30	57	216	667	0,42	0,07	0,12	0,16	0,38	0,21	4,0
Fay-aux-Loges : *Mondru*	950	6,0	0	53	87	210	612	0,76	0,30	0,26	0,18	0,75	0,43	4,9
Fay-aux-Loges : *La Jonchère.*	920	5,9	0	23	52	152	744	0,53	0,13	0,16	0,10	0,46	0,32	7,0
Sully-la-Chapelle : *Les Loges* .	960	6,9	0	79	92	255	527	0,98	0,14	0,17	0,20	2,53		2,1
Ingrannes : *Hordeville*	980	6,9	0	33	35	256	646	0,55	0,34	0,22	0,24	1,23		6,7
Ingrannes : à 500 m en direct. de Sully	940	6,3	0	26	44	89	809	0,81	0,16	0,39		0,63	0,20	15,0
Vennecy : à 1 km en direct. de Chécy	970	6,2	0	100	84	289	488	0,81	0,16	0,15	0,34	2,18	0,91	1,5
						Sables et marnes de l'Orléanais								
Bellegarde : *Hautes-Sœurs* (sol)	960	6,4	0	298	134	204	284	1,26	0,11	0,38	0,43	5,54	1,48	1,3
Chambon La Forêt : à 1 km en direct. d'Ingrannes	950	7,1	traces	143	106	262	450	1,32	0,11	0,18	0,29	3,20		1,3
Courcy aux Loges : à 500 m en direct. de Chambon	940	6,1	0	144	92	209	514	0,90	0,17	0,24	0,34	2,31	1,13	1,7
Chilleurs-aux-Bois : à 1 km en direct. de Courcy (sol)	900	8,0	102	236	102	126	383	1,40	0,19	0,30	0,33			1,3
Chilleurs-aux-Bois : marne prélevée à 1 m	1 000		625	228	16	21	41							
Chilleurs-aux-Bois : à 1 km en direct. de Neuville (marne)	1 000		632	39	15	93	51							
Chilleurs-aux-Bois : *Ronville*	970	7,8	38	186	82	247	389	1,34	0,29	0,45	0,32			2,4
Neuville-aux-Bois : à 1 km en direct. de Chilleurs	900	7,9	39	177	79	202	424	1,62	0,05	0,44	0,32			2,5
Loury : à 800 m en direct. de Neuville	900	7,9	9	136	99	199	496	1,34	0,18	0,22	0,26			1,6
Marigny-les-Usages : à 1 km 5 en direct. de Rebrechien	880	8,0	192	329	62	106	212	1,96	0,22	0,32	0,29			1,0
Rebrechien : à 1 km en direct. de Marigny	920	6,8	0	247	103	244	335	1,46	0,07	0,17	0,37	5,71		0,7
Cercottes : à 1 km en direct. de Gidy	960	7,2	0	210	121	307	301	1,26	0,23	0,38	0,29	5,37		1,8
Gidy : *Coulevreu*	790	8,0	438	234	52	94	133	1,74	0,48	0,36	0,26			1,5
Saran : *Les 4 Cheminées*	960	7,6	3	240	176	268	227	2,10	0,32	0,16	0,29			0,7

à préciser l'effet d'un apport de doses croissantes de superphosphate sur la concentration de leurs solutions.

Voici quelques-uns des résultats obtenus :

	P_2O_5 assimilable pour mille	Fer libre pour mille	Argile pour mille	P_2O_5 en mmg par litre de solution du sol Superphosphate par ha 0	450 kg	900 kg
Bouzy la Forêt. Sury aux Bois	0,09	2,6	38	1,43	4,10	7,8
"Les Herses" .. Ingrannes	0,08	2	28	1,27	4,26	10,9
"Hordeville" ...	0,34	2,6	33	3,32	8,20	14,4

Ils montrent que, malgré leur pauvreté, en raison de la faible quantité de colloïdes argileux et humiques qu'ils renferment et de leur appauvrissement en fer libre, facteur essentiel de la rétrogradation, ces sols ont des solutions dépassant la teneur de 1 m/mg par litre, considérée comme pratiquement suffisante, avant tout apport d'engrais phosphaté ; des épandages massifs sont donc, ici, contre indiqués.

Il en va différemment avec les sols dérivés des sables et marnes de l'Orléanais qui, quoique nettement mieux pourvus dans l'ensemble que les précédents, renferment de l'acide phosphorique doué d'une moins grande mobilité, ainsi qu'en font foi les résultats ci-après :

	P_2O_5 assimilable pour mille	Fer libre pour mille	Argile pour mille	P_2O_5 par litre de solution du sol Superphosphate par ha 0	450 kg	900 kg
Chambon la Forêt....	0,11	7,5	143	0,29	0,80	1,56
Courcy aux Loges.....	0,17	6,6	144	0,37	1,49	3,04
Chilleurs aux Bois « Ronville ».....	0,29	5,6	186	1,90	3,02	4,44

Malgré leur pouvoir de rétention assez élevé, imputable pincipalement à l'argile et au fer libre, la teneur souhaitable de 1 m/mg par litre d'acide phosphorique est obtenue dans les sols moyennement pourvus par l'apport de 500 ou 600 kg de superphosphate par hectare.

5° **Potasse échangeable.**

La potasse a été dosée, à l'état échangeable, par la méthode à l'acétate d'ammonium.

Les nombreux essais des Stations Agronomiques ayant établi que l'on peut admettre comme ayant une richesse satisfaisante une terre renfermant de 0,25 à 0,30 de potasse échangeable, pour mille de terre totale, les sols dérivés des sables et argiles de Sologne devraient être considérés comme les moins bien pourvus de l'Orléanais.

Toutefois, eu égard au fait que la quantité de potasse échangeable, susceptible d'être retenue par un sol est fontion de sa capacité d'échange, c'est-à-dire de la somme des pouvoirs absorbants des fractions argileuse et humique de ce sol, il est indiqué de ramener la quantité de potasse dosée à sa capacité d'échange ; à défaut, le rapport potasse échangeable/1 000 d'argile aboutit déjà à de fort intéressantes observations.

La nature de l'argile pouvant varier avec les types de sols et certaines argiles ayant un pouvoir de rétention vis-à-vis des bases nettement plus élevé que d'autres, ce rapport ne garde évidemment toute sa valeur que dans la comparaison d'échantillons provenant du même type de sol.

Sa détermination permet encore de condamner les apports massifs d'engrais potassiques dans les sols dérivés des sables et argiles de Sologne, les épandages correspondant simplement aux exportations des récoltes étant seuls rationnels.

Dans les sols dérivés des sables et marnes de l'Orléanais, des doses nettement plus importantes peuvent être utilisées, d'autant plus que leur fort pouvoir absorbant s'oppose à l'entraînement de la potasse.

6° Chaux et magnésie échangeables.

Le dosage des bases échangeables a été effectué par la méthode à l'acétate d'ammonium.

La magnésie échangeable se trouve en quantité élevée dans les sols dérivés des sables et marnes de l'Orléanais, généralement en quantité suffisante dans les sols dérivés des sables et argiles de Sologne, ce qui justifie, sauf dans quelque cas pour cette dernière catégorie de terres, la non intervention de cet élément dans la fumure.

Le rapport chaux échangeable/magnésie échangeable atteint :

4,5 dans les sols dérivés des sables et argiles de Sologne.

13,8 dans les sols dérivés des sables et marnes de l'Orléanais.

V. — CULTURES-AMENDEMENTS ET FUMURES

Cultures.

Voici, d'après G. DESJOBERT, Directeur-Adjoint des Services Agricoles du Loiret, quelques précisions relatives à l'économie rurale et aux cultures de cette région naturelle.

« L'Orléanais, qui fait, au nord de la Loire, le pendant de la Sologne du Loiret, occupe environ 1/6 de la surface du département, soit un peu plus de 100 000 ha, se répartissant ainsi :

Bois (Forêt d'Orléans principalement)	50 %
Terres labourables	35
Prairies naturelles	5
Landes et divers	10

La forêt domaniale d'Orléans (35 000 ha) est l'une des plus vastes et des plus vieilles forêts françaises ; le chêne y recule depuis quelque temps devant les peuplements de résineux.

L'Orléanais est une région pauvre, peu pleuplée, où dominent les petites et moyennes exploitations, situées sur les contours de la forêt ou dans ses clairières. Culture et élevage se partagent l'activité des agriculteurs mais les spéculations animales tendent à prendre actuellement une importance croissante.

La polyculture y est la règle avec peu de productions spéciales à la région, si ce n'est celle très en honneur du haricot flageolet. Les terres y sont conduites classiquement sur 3 ou le plus souvent sur 4 ans, avec intercalation d'un mélange trèfle violet-ray grass d'Italie entre la céréale secondaire et la plante sarclée. Cependant, grâce au développement pris par la culture de l'herbe, l'assolement tend à devenir de plus en plus fourrager.

La sole des plantes sarclées est occupée par la betterave fourragère, le rutabaga, la pomme de terre, le haricot et les fourrages verts annuels. Les céréales d'automne (blé et seigle) souffrent souvent de l'humidité de l'hiver, celles de printemps (avoine et orge) de la sécheresse estivale.

Les prairies artificielles sont à base de trèfle violet, rarement de luzerne; les prairies temporaires sont le plus souvent à base de dactyle.

Le cheptel comprend surtout des vaches laitières, normandes et accessoirement frisonnes, dont la moitié environ relève de l'insémination artificielle. Le nombre d'élèves représente sensiblement les 2/3 de celui des vaches.

La basse-cour est également très développée et constitue pour l'exploitant un appoint sérieux de revenu ».

Amendements et Drainage.

La nature peu perméable de beaucoup de terres de l'Orléanais devrait évidemment inciter à améliorer leurs propriétés physiques, en recourant au chaulage et, éventuellement, au drainage.

Le chaulage s'impose dans la quasi totalité des sols dérivés des sables et argiles de Sologne et doit être considéré comme l'amélioration de base, dans ce sens que, tout en facilitant leur assainissement, il augmente leur productivité en favorisant la minéralisation de l'azote organique, en assurant le maintien dans la couche arable du complexe absorbant argilo-humique et, par contre coup, une bonne utilisation par les plantes des éléments fertilisants.

Toutefois, il est indiqué dans ces sols, dont la couche arable est presque toujours pauvre en colloïdes, de préférer les chaulages légers et répétés aux chaulages massifs effectués pour de longues périodes, en

raison du fait qu'une élévation un peu forte du pH peut se traduire par une inactivation de certains oligo-éléments, notamment du bore, du zinc et du manganèse.

Par contre, dans les quelques sols dérivés des sables et marnes de l'Orléanais qui sont acides, il peut y avoir intérêt à aller au delà du besoin en chaux déterminé analytiquement, pour agir favorablement sur leurs propriétés physiques.

Fumures.

Dans la zone nettement la plus favorisée, mais fort peu étendue, qui est celle des sols dérivés des sables et marnes de l'Orléanais, l'assolement triennal sera seul envisagé, la fertilisation étant basée sur le fait que la plupart de ses sols sont assez bien pourvus à tous égards.

Voici quelles pourraient y être les fumures appliquées par hectare, en tablant sur un apport de 20 à 30 000 kg de fumier en tête d'assolement.

	Azote	Acide phosphorique	Potasse
	—	—	—
Plantes sarclées	70 à 80 kg	70 à 80 kg	150 kg
Blé d'automne	70 kg	90 kg	90 kg
Avoine ou orge de printemps	45 à 50 kg	80 kg	80 kg

Les nombreux essais qui ont permis de vérifier le bien fondé de la méthode Corc (4), incitant à appliquer l'azote minéral destiné au blé en 2 fois, il y a intérêt à épandre les 70 kg, à raison de :

40 kg à l'époque du tallage (à l'état ammoniaco-nitrique)

30 kg au début de la montaison (à l'état nitrique).

Dans la zone des sols dérivés des sables et argiles de Sologne, de beaucoup la plus importante, c'est d'une façon générale, l'assolement quadriennal qui entre en ligne de compte ; en envisageant toujours un apport de 20 à 30 tonnes de fumier à l'occasion du labour profond destiné à préparer le sol pour les plantes sarclées (betterave fourragère, pomme de terre, rutabaga) les fumures pourraient être, par hectare, les suivantes :

	Azote	Acide phosphorique	Potasse
	—	—	—
Plantes sarclées	60 à 70 kg	70 kg	150 à 200 kg
Blé d'automne	60 à 70 kg	80 kg	80 kg
Avoine ou orge de printemps	40 à 45 kg	70 kg	70 kg
Trèfle violet (en complément de la fumure de la céréale)		50 kg	60 kg

L'azote minéral du blé serait apporté en 2 fois : 30 à 40 kg au tallage 30 kg au début de la montaison.

Lorsque le blé est remplacé par le seigle, celui-ci ne doit pas recevoir plus de 50 kg d'azote, appliqué en quasi totalité en couverture à la fin de l'hiver. Des essais nous ont, en effet, montré que dans ces sols dont la

couche arable est presque toujours trop « filtrante » les pertes d'éléments solubles étaient fort importantes du fait de la pluviosité durant l'automne et l'hiver.

En raison de la « mobilité » assez grande de la potasse du sol, en ce qui concerne la fumure de la betterave fourragère et de la pomme de terre dans les terres pauvres à cet égard, si elles sont nettement sablonneuses, il peut être indiqué de ne pas dépasser 150 kg de cet élément par hectare, cette dose étant, toutefois, sensiblement augmentée dans les terres très argileuses.

Prairies naturelles.

Celles-ci existant surtout sur les sols dérivés des sables et argiles de Sologne, il y a lieu, à la création, d'apporter par hectare, la fumure de fond suivante :

1000 kg de scories
200 kg de chlorure de potassium
200 kg de cianamide

Quant à la fumure annuelle d'entretien, elle doit osciller, par hectare, autour des doses ci-après :

Azote	30 à 40 kg
Acide phosphorique	80 à 90 kg
Potasse	80 à 100 kg

pour une prairie de fauche ; s'il s'agit d'une prairie uniquement paturée, la quantité de potasse peut être abaissée à 60 kg.

Dans la pratique du pâturage par rotation, il y a lieu d'apporter en supplément, 100 kg de nitrate, par hectare, chaque fois que le bétail quitte un enclos.

RÉSUMÉ

La région naturelle appelée « Orléanais » est une vaste plaine qui, au nord de la Loire, fait le pendant de la Sologne du Loiret, située au sud du fleuve.

Elle comprend 2 types de sols :

— sur une petite partie de sa surface : ceux dérivés des sables et marnes de l'Orléanais, de réaction généralement alcaline et de fertilité satisfaisante ;

— sur la plus grande partie soumise à la culture : ceux dérivés des sables et argiles de Sologne, de réaction toujours acide et de faible fertilité.

L'Orléanais a la moitié de sa surface occupée par la forêt (forêt d'Orléans principalement).

SUMMARY

Contribution to the agronomical study of the Orleans region.

The natural region called « Orléanais » is a large plain which north of the Loire forms the counterpart of the Sologne du Loiret situated south of the river.

The region is covered with two types of soil :

to a smaller extent, soils derived from the sands and marls of the « Orléanais », generally showing an alkaline reaction and satisfactory fertility ;

on the greater part of the cultivated area, soils derived from the sands and clays of the Sologne, always showing an acid reaction and poor fertility.

Half of the area of the « Orléanais » is occupied by forest (mainly the Orleans forest).

ZUSAMMENFASSUNG

Beitrag zur landwirtschaftlichen Untersuchung der Orleans-Gegend.

Die « Orléanais « genannte Gegend ist eine weite Ebene, die nördlich der Loire das Gegenstück der Sologne des Loiretflusses, südlich der Loire darstellt.

Sie umfasst 2 Bodentypen :

— auf einer kleinen Fläche : diejenigen Böden die von den Sand-und Mergelablagerungen des Orleanais herstammen haben gewöhnlich eine alkalische Reaktion und eine befriedigende Fruchtbarkeit ;

— auf der grössten bebauten Fläche : diejenigen Böden die von den Sand- und Tonablagerungen der Sologne herstammen haben stets eine saure Reaktion und eine geringe Fruchtbarkeit.

Die Hälfte der Fläche der Orleans-Gegend ist bewaldet (Orleans Wald).

Добавление к агрономическому изучению Орлеанского района.

Л. ДЕПАРДОН и П. БЮРОН.
Агрономическая станция в Блуа (Blois).

РЕЗЮМЭ

Естественная область называемая « Orléanais » — это обширная равнина, которая, к северу от Луары, прилегает к Солонь реки Луаре (Sologne du Loiret), расположенной к югу от Луары.

В ней встречено два почвенных типа :

— небольшая часть поверхности занята почвами происшедшими от орлеанских песков и мергелей (геологический этаж « sables et marnes de l'Orléanais »), имеющими обычно щелочную реакцию и удовлетворительное плодородие;

— главная часть занятая культурами имеет почвы, происшедшие из песков и глин Солони (« sables et argiles de Sologne »), со всегда кислой реакцией и мало плодородные.

Орлеанская область имеет половину поверхности под лесом (главным образом, Орлеанский лес).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) VINCENT. — Chaulage des terres acides-*Buléltin de l'Association française pourl'étude du sol*, p. 341, décembre 1938.
(2) ANNE. — Sur le dosage rapide du carbone des sols. *Annales Agronomiques*, 1945, p. 161.
(3) DEMOLON et BOISCHOT. — Isodynamie des doses d'engrais phosphatés solubles. *C. R. Ac. Agr.*, 1951, p. 477.
(4) COIC. — La nutrition azotée du blé. *Annales Agronomiques*, 1952, p. 417.

INFLUENCE DES FUMURES AZOTÉES ET POTASSIQUES SUR L'EXPORTATION D'UNE CULTURE DE BETTERAVES SUCRIÈRES

PAR

G. LEFÈVRE, G. HIROUX

Station d'Agronomie, Amiens

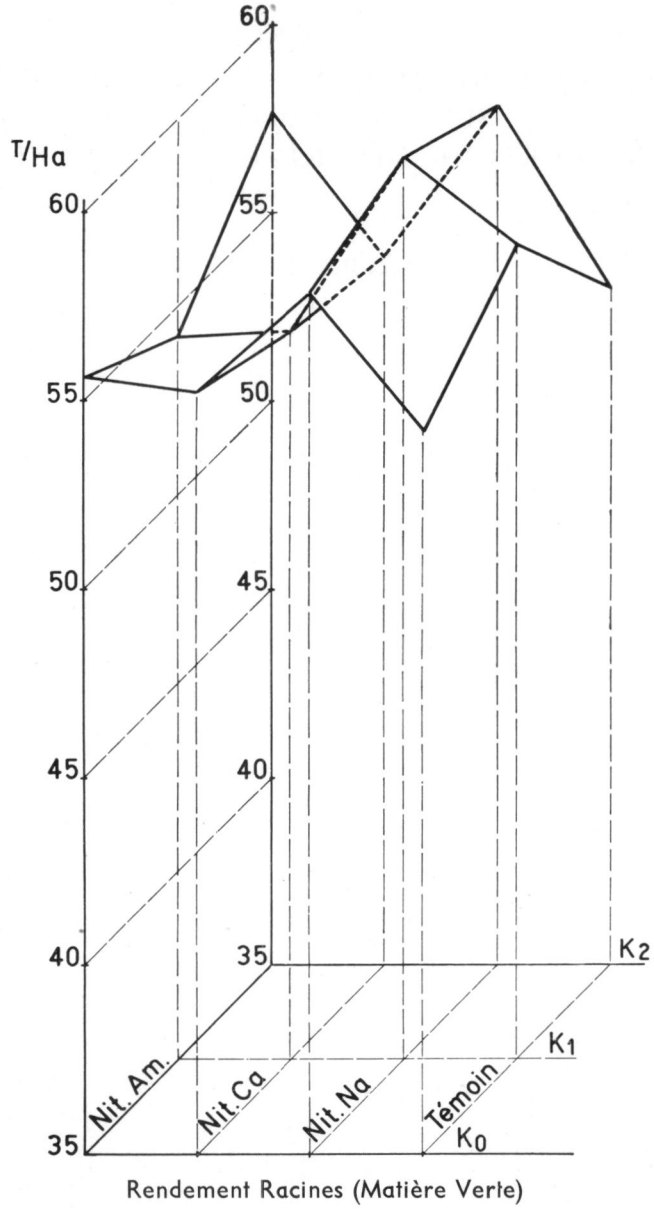
Sur un champ d'expérience, installé en 1954 pour étudier l'effet de divers traitements azotés en présence de doses variables de la fumure potassique, est revenu en 1956 une culture de betteraves. L'analyse des rendements a paru dans les Annales de 1957 et confirme les premières conclusions de 1954. Les deux plus importantes peuvent être rappelées : pour le sol considéré, les parcelles sans azote donnent, dans l'ensemble des traitements potassiques, des tonnages de racines relativement peu inférieurs aux traitements azotés sous forme de nitrate de chaux et ammonitrate. Il n'en est pas de même pour les feuilles ; les parcelles ne recevant pas d'azote minéral se caractérisent par un rapport racines/feuilles très élevé. Le rapport est nettement plus faible pour les parcelles recevant 120 kg d'azote sous forme d'Ammonitrate ou de Nitrate de chaux. Celles qui reçoivent la même dose d'azote sous forme de nitrate de soude se placent, à ce point de vue, entre les deux cas précédents.

TABLEAU I

Fumures des parcelles depuis 1953.

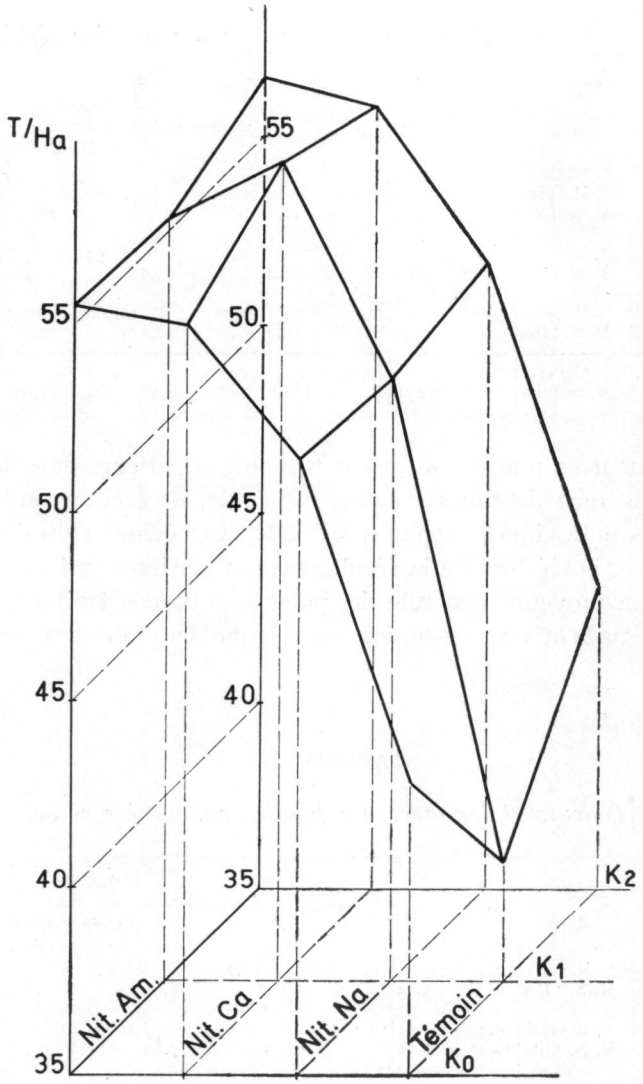
	Dernière coupe de Luzerne	Betteraves 53-54		Verts de Betteraves	Blé 54-55		Trèfle Ladino	Betteraves 55-56	
		Nitrate de Soude Nitrate de Chaux Ammonitrate	Sans Azote		Nitrate de Soude Nitrate de Chaux Ammonitrate	Sans Azote		Nitrate de Soude Nitrate de Chaux Ammonitrate	Sans Azote
Azote		100	0		40 + 30	40+30+30		120	0
Acide phosphorique.....		120	120		80	80		100	100
Potasse K_0....		0	0		0	0		100 par erreur	100
K_1....		150	150		40	40		150	150
K_2....		300	300		80	80		300	300

Les échantillons prélevés lors de la récolte ont été analysés et l'utilisation d'un séchoir plus rapide a permis, à l'inverse de 1954, de mesurer



la teneur en matière sèche et par suite de calculer les différences d'exportations dues aux traitements. Ce mémoire a précisément pour but d'indiquer ces résultats en ce qui concerne l'azote et la potasse.

Si nous renvoyons aux comptes rendus sur la fertilisation pour la discussion statistique des rendements et les conditions d'échantillonnage,



Rendement Feuilles (Matière Verte)

il a paru nécessaire de reproduire ici le tableau des fumures apportées depuis l'origine de l'essai.

Les rendements en racines et feuilles exprimés en t/ha ont été repris dans le graphique I.

I. — Matière sèche.

a) *Racines.*

TABLEAU II

Teneurs et tonnages des racines en matière sèche.

		Nitrate de Soude	Nitrate de Chaux	Ammonitrate	Moyenne des traitements azotés	Sans Azote minéral
K_0	M.S. % M. verte	20,5	21,2	20,9	20,86	22,1
	M. S. t/ha	11,9	11,7	11,6	11,73	11,7
K_1	M.S. % M. verte	21,1	21,0	20,7	20,93	21,1
	M. S. t/ha	12,5	11,4	11,2	11,70	12,0
K_2	M.S. % M. verte	21,6	21,5	21,7	21,60	22,3
	M. S. t/ha	12,7	11,9	12,5	12,36	11,8
Moyenne ..	M.S. % M. verte	21,06	21,23	21,1	21,13	21,83
	M. S. t/ha	12,36	11,66	11,76	11,93	11,83

La teneur en matière sèche est toujours supérieure dans les racines n'ayant pas reçu de fumure azotée minérale, et ceci surtout pour les traitements potassiques extrêmes K_0 et K_2. Cet élément diminue encore la différence, notée lors de la récolte sur les matières fraîches, entre les poids/ha. La moyenne générale des poids secs/ha des traitements azotés n'est pas significativement supérieure à la moyenne des traitements non azotés.

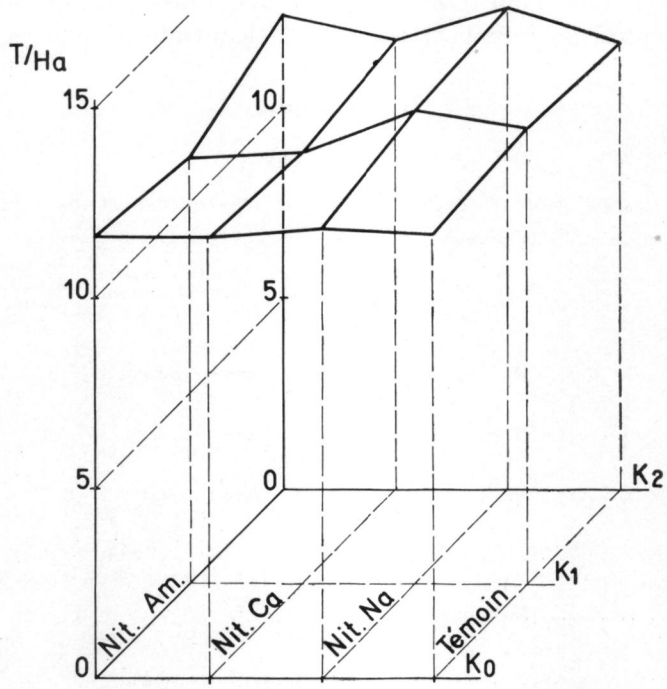
b) *Feuilles.*

TABLEAU III

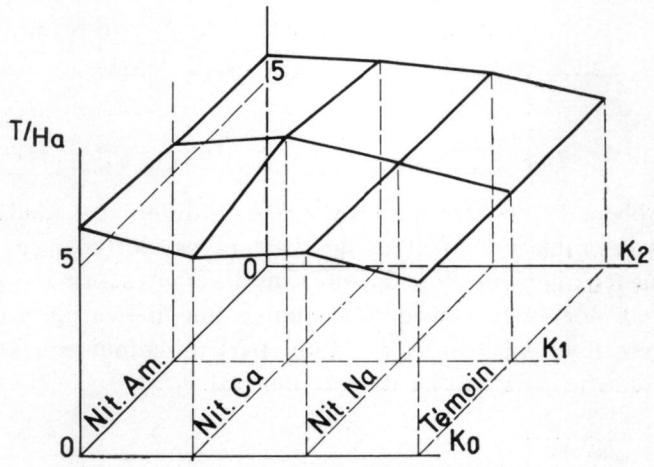
Teneurs et tonnages des feuilles en matière sèche.

		Nitrate de Soude	Nitrate de Chaux	Ammonitrate	Moyenne des traitements azotés	Sans Azote minéral
K_0	M.S. % M. verte	10,4	9,9	10,7	10,33	10,7
	M. S. t/ha	5,35	5,2	5,97	5,51	4,6
K_1	M.S. % M. verte	10,3	10,4	10,1	10,26	11,7
	M. S. t/ha	5,25	5,9	5,80	5,65	4,5
K_2	M.S. % M. verte	10,1	9,8	10,0	9,96	11,9
	M. S. t/ha	5,24	5,50	5,66	5,46	4,54
Moyenne ..	M.S. % M. verte	10,26	10,03	10,26	10,20	11,43
	M. S. t/ha	5,28	5,53	5,81	5,54	4,55

Ici la richesse plus élevée en matière sèche ne compense pas la différence relevée dans les tonnages frais et les moyennes générales indiquent une production supérieure de 1 t/ha de M. S. de feuilles pour l'ensemble



Matières sèches Racines



Matières sèches Feuilles

des traitements azotés. On peut également noter dans ceux-ci l'écart important, notable pour tous les traitements potassiques, bien que diminuant à mesure que ceux-ci croissent, entre le nitrate de soude et l'ammonitrate.

II. — Azote.

TABLEAU IV

Teneurs en azote et exportations par les racines et les feuilles.

		Nitrate de soude	Nitrate de chaux	Ammonitrate	Moyenne des trait. azotés	Sans azote minéral
Racines :						
K_6	M. S. %	0,85	0,75	0,76		0,67
	kg/ha	100,5	87,4	88,4	91,0	78,3
K_1	M. S. %	0,72	0,81	0,72		0,58
	kg/ha	88,5	92,7	80,3	87,0	69,9
K_2	M. S. %	0,70	0,79	0,77		0,54
	kg/ha	88,4	93,6	96,6	93,0	63,4
Moyenne	kg/ha	92,5	91,2	88,4	90,7	70,5
Feuilles :						
K_0	M. S. %	2,51	2,51	2,42		2,25
	kg/ha	131,6	130,9	142,9	135,0	102,5
K_1	M. S. %	2,36	2,27	2,48		2,16
	kg/ha	124,0	130,7	144,4	133,0	96,3
K_2	M. S. %	2,46	2,50	2,52		2,07
	kg/ha	128,3	137,5	142,3	136,0	93,6
Moyenne	kg/ha	127,9	133,0	143,2	134,7	97,5
Total :						
K_0	kg/ha	232,1	218,3	231,3	227,0	180,8
K_1	kg/ha	212,5	223,4	224,7	220,0	166,2
K_2	kg/ha	216,7	231,1	238,9	229,0	157,0
Moyenne	kg/ha	220,4	224,2	231,6	225,4	168,0

Le tableau IV montre qu'il n'y a pas de différences fondamentales dans les consommations azotées des betteraves cultivées sur des parcelles ayant reçu la même dose d'azote sous différentes formes. Les moyennes peuvent donc être considérées comme une indication valable des exportations de ce sol ayant reçu, d'une part un enfouissement de trèfle ladino et d'autre part 120 kg d'azote minéral.

Racines	90 kg/ha
Feuilles et Collets	135 kg/ha
Total	225 kg/ha

Ces chiffres indiquent par ailleurs que le sol a, au moins, fourni 100 kg/ha d'azote à la plante.

Si les verts sont enfouis, ils redonnent au sol 135 kg d'azote et l'exportation est réduite à 90 kg/ha. On peut donc en conclure que, dans ces conditions, le bilan azoté de la culture est positif puisqu'en définitive — avec un rapport de 120 kg et une exportation de 90 kg — il se traduit par un excédent de 30 kg.

Ce fait confirme encore que l'enfouissement des verts représente un apport de matières organiques compensant au moins les pertes d'une année. Il faut rapprocher la quantité d'azote enfoui de la quantité totale de matière organique qui l'accompagne. Pour la moyenne des traitements azotés, et compte tenu de la teneur en cendres oscillant entre 5 et 10 p. 100, elle est de 5 tonnes/ha de matière sèche. Ceci conduit à un rapport matières organiques /N de 5 000/135 = 37, rapport suffisamment bas (< 40) pour que la décomposition n'immobilise pas d'azote minéral et permette au contraire un abandon d'azote pouvant correspondre aux besoins d'une culture.

Si l'on considère ensuite dans leur ensemble les traitements ne comportant pas d'engrais minéraux azotés il apparaît que l'exportation globale n'est plus que de 168 kg,

Racines	70,5
Feuilles et Collets	97,5
Total	168

soit 57 kg de moins, seulement, que pour les betteraves ayant reçu 120 kg d'azote. Le bilan azoté avec l'enfouissement des verts est cependant obligatoirement négatif puisque l'exportation par les racines reste de 70 kg à l'hectare. Dans ce cas le rapport Mat. Org. des verts/N = 4 5000/97,5 = 41 est plus élevé ; sans entraîner un blocage important d'azote minéral, il pourrait provoquer un ralentissement momentané de la vitesse de décomposition.

L'examen des traitements individuels fait ressortir que la fumure potassique diminue la quantité d'azote exportée par les racines des betteraves cultivées sans azote ou avec nitrate de soude, et au contraire l'augmente dans les traitements ammonitrate et nitrate de chaux. Cet effet est moins net sur les feuilles.

III. — Potasse.

Les résultats sont exprimés en K_2O dans le tableau V pour se reporter plus facilement aux fumures fournies par les engrais.

L'influence des traitements azotés dans leur ensemble est peu marquée.

Il est assez curieux de noter également qu'il y a peu de différences entre les traitements K_0 et K_1.

TABLEAU V

Teneurs en potasse et exportations par les racines et les feuilles.

		Nitrate de soude	Nitrate de chaux	Ammo-nitrate	Moyenne des trait. azotés	Sans azote minéral
Racines :						
K_0	M. S. %	1,02	0,99	0,99		1,02
	kg/ha	120,0	115,0	115,0	116,7	120,0
K_1	M. S. %	0,93	1,03	1,02		1,0
	kg/ha	117,0	118,0	115,0	116,7	120,0
K_2	M. S. %	1,02	1,15	1,08		1,03
	kg/ha	131,0	135,0	136,0	134,0	122,0
Moyenne	kg/ha	122,7	122,7	122,0	122,5	120,7
Feuilles :						
K_0	M. S. %	3,15	3,41	3,32		3,76
	kg/ha	168,0	178,0	197,0	181,0	173,0
K^1	M. S. %	3,08	3,31	3,73		3,88
	kg/ha	160,0	193,0	215,0	189,3	172,0
K_2	M. S. %	3,75	4,27	4,20		4,84
	kg/ha	195,0	234,0	237,0	222,0	196,0
Moyenne	kg/ha	174,3	201,7	216,3	197,4	180,3
Total :						
K_0	kg/ha	288,0	293,0	312,0	297,7	293,0
K_1	kg/ha	277,0	311,0	330,0	306,0	292,0
K_2	kg/ha	326,0	369,0	373,0	356,0	318,0
Moyenne	kg/ha	297,0	324,4	338,3	319,9	301,0

Si l'on se reporte au tableau I on voit qu'en 3 ans les parcelles :

K_0 ont reçu 100 kg de potasse (par suite d'une errreur d'épandage faite en 56)
K_1 ont reçu 340 kg de potasse
K_2 ont réçu 680 kg de potasse

Seule la dernière dose K_2 se traduit par une augmentation de potasse de 18 kg dans les racines et de 22 à 41 kg dans les feuilles.

Si l'on considère l'exportation totale allant de 300 à 350 kg on peut certes dire qu'un apport de 300 kg/ha couvre juste ces besoins. Mais en 54 les verts de la première culture de betteraves ont été enfouis et le blé suivant a donc eu en moyenne, quel que soit son traitement potassique, des restitutions dépassant largement ses besoins. La consommation totale supplémentaire de 40 à 60 kg correspondrait dans le cas du traitement K_2 à la consommation de luxe. Elle n'est pas considérable et il est particulièrement important de noter que les parcelles K_0 et K_1 ont pratiquement exporté les mêmes quantités de potasse.

Ces chiffres permettent encore de souligner l'importance particulière que l'on doit attacher, dans la fumure globale potassique d'une

rotation, aux restitutions fournies par un enfouissement des verts. Si dans cette rotation on enfouit également les pailles de céréales on arrive à un système de culture très économique en éléments fertilisants. Ce fait devrait être mieux évalué par les cultivateurs amenés, pour d'autres, raisons, à substituer aux apports de fumier des restitutions organiques directes. Il en résulte également qu'il ne peut y avoir de fumures minérales types pour une culture et que la fumure phosphopotassique d'une rotation doit tenir compte des divers éléments la caractérisant.

RÉSUMÉ

Les analyses effectuées sur les échantillons prélevés au moment de la récolte d'un champ d'essai sur betteraves sucrières mettent en évidence la répartition entre les racines et les verts des quantités d'azote et de potasse exportées. Les chiffres présentés pourraient donner des éléments permettant d'une part, de mieux évaluer la quantité et la qualité de la matière organique enfouie sous forme de verts et, d'autre part, de confirmer l'intérêt de mesurer les restitutions minérales qu'elle représente pour adapter en particulier, la fumure potassique aux besoins réels de rotations très diversifiées dans leur réalisation pratique.

SUMMARY

The effect of nitrogen and potassium fertilizers on the nutrient removal by a crop of sugar beets.

Analytical data on samples taken from an experimental plot at the time of harvest show the distribution between roots and tops of the nitrogen and potassium taken up by the plant. The figures reported should by useful for the better evaluation of the quality and quantity of tops to be turned down in the soil, and may serve as a guide to the mineral nutrients restored by their application and to adapting the level of fertilizing especially with potassium, to the actual need of different rotations.

ZUSSAMMENFASSUNG

Einfluss der Stickstoff-und Kalidüngung auf Nährstoffausfuhr bei Zuckerrüben.

Die Analysen von Zuckerrübenproben die bei der Ernte auf einem Versuchsfelde genommen wurden geben die Verteilung der Stickstoff-und Kaliausfuhr durch die Wurzel und durch die Grünmasse. Die gewonnenen zahlen machen es möglich einerseits die Menge und Qualität der als Grünmasse eingepflügte organische Substanz besser zu schätzen, und andererseits der Interresse der Bestimmung der Mineralstoffrückführung durch die Grünmasse zu bestätigen und zwar um die Düngung, besonders die Kalidüngung den sehr verschiedenen Fruchtfolgen in ihrer praktischer Durchführung an zu passen.

Влияние азотных и калийных удобрений на вывоз питательных элементов культурой сахарной свеклы.

Ж. ЛЕФЭВР и Ж. ХИРУ.
Амьенская Агрономическая Станция.

РЕЗЮМЭ

Анализы проб сахарной свеклы, взятых во время уборки урожая одного опытного поля, показывают распределение между корнями и зелеными частями вывозимых количеств азота и калия. Представленные цыфры могли бы дать основы, позволяющие с одной стороны лучше высчитывать количество и качество органического вещества запаханного в виде зеленых частей и с другой стороны подтвердить интерес определения возвращения минеральных элементов, таким образом конкретизированного, чтобы приспособить, в частности, калийное удобрение к действительным нуждам плодосменов, очень разнообразных в их практическом осуществлении.

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE L'ÉROSION DES SOLS DU BAS-RHONE

II. — SOLS SUR SABLES MIOCÈNES ET PLIOCÈNES DANS LE VAUCLUSE

PAR

R. GUENNELON

Station d'Agronomie, Avignon

PLAN DU MÉMOIRE

I. — **Introduction.**

II. — **Etude du milieu naturel.**
- A. Situation géographique.
- B. Etude des sols en place.
  - 1. Sols sur cailloutis pliocène.
  - 2° Sols sur colluvionnement de cailloutis et de sables miocènes.
  - 3° Sols sur sables miocènes.
  - 4° Conclusions à l'étude des sols.

III. — **Etude des phénomènes d'érosion.**
- A. Conditions locales.
- B. Action sur les propriétés des sols.
  - 1° Texture et propriétés physiques.
  - 2° Propriétés chimiques.
  - 3° Conclusions.
- C. Bilan des dégâts causés et possibilités de conservation.

IV. — **Conclusions.**

I. — INTRODUCTION

Les phénomènes d'érosion dans le Sud-Est de la France méritent une certaine attention ; en effet, même lorsqu'ils ne présentent pas un aspect spectaculaire, leur influence sur les propriétés des sols et sur la fertilité (au sens large) des terroirs est loin d'être négligeable.

Nous avions déjà signalé (2) les modifications apportées par ces actions sur des sols cultivés et montré qu'elles aboutissaient, suivant des

processus variés (pertes globales de sol, action sur la texture et le comportement mécanique, variations dans les propriétés chimiques) à une dégradation des qualités agrologiques d'un territoire.

L'étude avait porté plus particulièrement sur des sols dont les roches-mères appartenaient aux formations suivantes :

— Loess.
— Cailloutis pliocènes.
— Marnes plaisanciennes.

Il était normal de s'attendre dans cette région voisine des « Fosses de Fournès « (Gard), à des phénomènes marqués par suite de l'existence du substratum plaisancien très imperméable et du relief assez accidenté.

Nous avons poursuivi ce travail en étudiant sous le même angle l'érosion de sols situés sur des sables du miocène supérieur (Helvétien) surmontés également par un cailloutis pliocène.

Dans cette région, on observe, dès que les déclivités sont assez fortes, des actions du ruissellement qui se traduisent sur les sols cultivés, par l'apparition de rigoles dès la première année de mise en culture.

Les différentes façons culturales font disparaître ces effets, que l'on peut observer à nouveau après chaque période de pluies, particulièrement en décembre et janvier.

Ces actions répétées aboutissent à un transport de matériaux qui a pour effet de tronquer les profils par entraînement des horizons supérieurs et de recouvrir les zônes basses par des matériaux de colluvionnement limoneux.

La méthode suivie pour cette étude consiste en la comparaison des sols en place, non érodés, des sols soumis à l'érosion et des produits de colluvionnement.

Les variations des propriétés chimiques et physiques de ces différents sols permettent également d'apprécier les dégradations de ces propriétés par suite de l'action sélective de l'érosion sur les matériaux qu'elle transporte et remanie.

II. — ETUDE DU MILIEU NATUREL

Nous ne reviendrons pas maintenant sur les conditions climatiques pour lesquelles nous ne possèdons pas actuellement de renseignements plus complets que ceux indiqués au cours de l'étude précédente (2).

A) Situation géographique. Conditions topographiques et géologiques générales.

La rive gauche du Rhône, d'Orange à la Durance est bordée sur 25 km de 4 collines, allongées au Nord du Sud et dont les altitudes respectives

sont de 109, 130, 112 et 130 mètres (Orange, Châteauneuf-du-Pape, Sorgues et Châteauneuf-de-Gadagne).

Leur ossature secondaire apparaît en certains points, sous formes de petits massifs crétacés (Barrémien inférieur) recouverts de garrigues. Ce substratum calcaire supporte en discordance les assises sableuses ou sablo-gréseuses de la transgression vindobonienne, faciès Helvétien dominant.

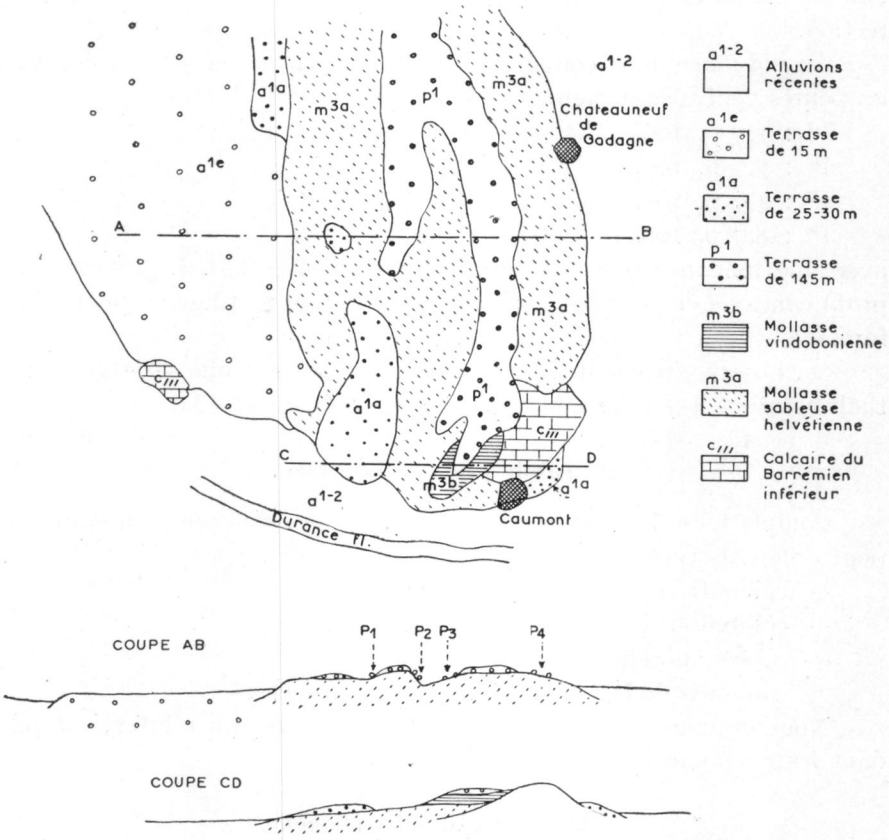


FIG. 1. — Schéma géologique de la colline de Caumont-Châteauneuf-de-Gadagne.

A leur tour, les assises miocènes sont surmontées vers le Nord par les sables de l'Astien et au Sud par le pliocène supérieur à cailloutis (terrasse de 145 m).

Cette formation a pu être attaquée par l'érosion et l'on trouve des cailloux et des sables roux résiduels mélangés aux sables du Miocène. Le Pliocène marin semble absent, dans cette localité.

Une basse terrasse surmonte de 25 mètres environ le cours voisin de la Durance et forme des lambeaux restreints sur les assises miocènes ;

enfin celles-ci disparaissent à l'Ouest sous une terrasse récente de 15 mètres et à l'Ouest sous des alluvions récentes ne formant pas de terrasse.

Par suite, de la topographie générale, on observe des pentes importantes aux abords de la terrasse pliocène avec une configuration dissymétrique, le versant Ouest étant moins abrupt que le versant Est. Ces pentes affectent donc la molasse sableuse miocène et chaque parcelle de terrain est limitée par des talus et des terrasses ; nous reviendrons plus loin sur l'état et sur l'opportunité de telles mesures anciennes de protection.

Au voisinage de la coupe A B (fig. 1) on peut noter d'Ouest en Est, les pentes générales moyennes suivantes :

P^1 : 7,5 p. 100.
P^2 : 7,5 p. 100.
P^3 : 4,5 p. 100.
P^4 : 8,9 p. 100.

avec une tendance plus marquée, pour les pentes Est, à présenter un profil concave, et pour les pentes Ouest un profil rectiligne à pente uniforme.

On observe, par suite, un modelé constitué par une série de petits thalwegs dans les sables miocènes, orientés d'Ouest en Est.

B) **Etude des sols en place.**

Compte tenu des matériaux susceptibles de former des substratums pour différents types de sols, nous pourrions observer les sols sur :

— cailloutis pliocène,
— colluvium de cailloutis mélésaux sables,
— sables miocènes,
— cailloutis de la basse terrasse de 25-30 mètres.

Nous ne nous occuperons pas du dernier type qui n'intervient pas dans les phénomènes d'érosion décrits ici.

1° **Sols sur cailloutis pliocène.**

Les sommets des buttes recouvertes par le cailloutis fluviatile de la plus ancienne terrasse, supportent des sols de couleur rouge très caillouteux, décrits généralement comme « sol rouge sur terrasse ».

Le profil présente un horizon supérieur A de couleur brun rouge dont l'épaisseur maximum est de 25 cm, un horizon B_1 rouge brun avec augmentation du taux d'argile, enfin des horizons C_1, C_2 D représentant respectivement, le cailloutis avec galets plus ou moins altérés, le cailloutis (roche-mère) et le substratum miocène qui, par suite, de sa perméabilité influence le drainage de la terrasse et mérite d'être signalé dans la description du profil.

Des conditions locales peuvent permettre l'observation entre B_1 et C_1, d'un horizon. B_2. Celui-ci est constitué d'un conglomérat à ciment calcaire, prenant le nom local de « taparas ».

Le profil est pratiquement dépourvu de CO_3Ca sauf lorsqu'il existe

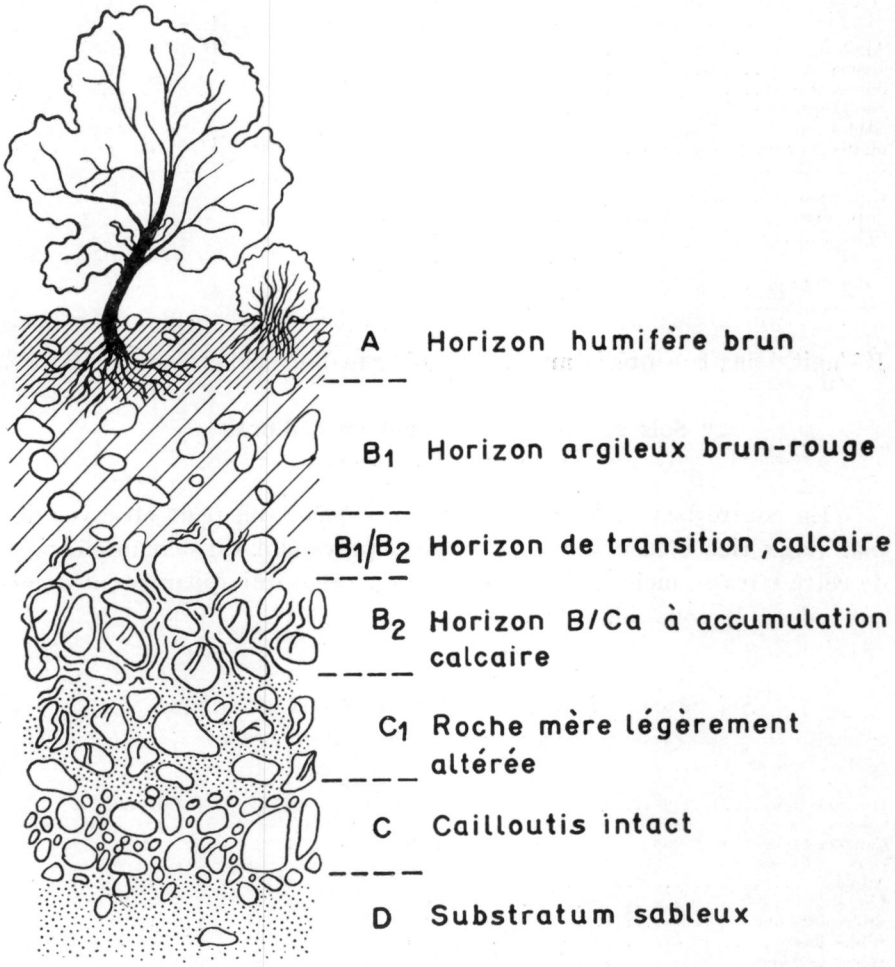


FIG. 2. — Schéma du profil du sol rouge sur cailloutis pliocène.

un horizon B_2 qui présente, au contraire, une forte accumulation en cet élément.

De tels profils ont été déjà souvent décrits sur le même substratum (1), aussi nous bornerons nous à donner les caractéristiques des horizons A et B_1 qui sont généralement les plus affectés par l'érosion.

La végétation naturelle est celle des garrigues avec le chêne vert, le thym, la lavande etc...

TABLEAU I

Sol sur cailloutis pliocène (St-Saturnin-les-Avignon)

N° Prélèvement	IA	IB
Horizons	A	B_1
Argile	11,5	36,8
Limon	30	21,4
Sables fins	50,6	22,2
Sobles grossiers	3,2	20
Sables totaux	53,8	42,2
Matières organiques	4,7	1
C p. 1000	25,6	6
N p. 1000	1,5	0,65
C/N	17	9,2
Calcaire total	1,1	2
pH	7,8	7,5

Il s'agit donc, très précisément, d'un sol brun d'alluvions à nappe *(Véga)*.

2° Sols sur colluvionnement de cailloutis et de sables miocénes.

En contre bas de la haute terrasse pliocène, on peut observer des matériaux riches en cailloux et graviers provenant du démantellement de cette terrasse mêlés à des sables fins miocènes qui apparaissent dominant dans le sous-sol.

TABLEAU II

Sol de colluvionnement de cailloutis et de sables.

N° Prélèvement	57	58
Horizons	A de 0 à 20	(B) de 20 à 35
Cailloux % de terre totale	27 %	12 %
Argile	11,1	15,1
Limon	26,4	21,2
Sables très fins	13,8	13,1
Sables fins	33,9	28,6
Sables grossiers	15,8	21,9
C ‰	27	5,9
N ‰	1,8	0,3
C/N	15	17,9
Calcaire total	20,6	37,8
Calcaire actif	6,75	10,5
pH	7,7	8,1
Perméabilité (1) p en cm/h	11,9	9,9

(1) Le cœfficient p peut être ramené au cœfficient K de la loi de DARCY par la formule $K = 2{,}8.10^{-6}p$. La perméabilité décroît avec p et les chiffres cités, s'ils ne peuvent prétendre à donner une indication absolue sur la valeur de la perméabilité, permettent cependant la comparaison, à ce sujet, des matériaux étudiés.

Bien que les divers points examinés diffèrent sensiblement les uns des autres par suite des variations de colluvionnement, on peut néanmoins retenir le profil suivant complet (A (B) C), des profils tronqués pouvant exister au voisinage :

a) Un horizon A caillouteux de couleur brun gris assez riche en débris organiques (lorsqu'il est protégé) et du type limon sableux à sables fins.

b) Un horizon B encore riche en cailloux, de couleur beige à gris beige de texture analogue et reposant sur les sables (horizon C).

Cet horizon (B) présente une légère augmentation du taux de calcaire, se traduisant par une teinte plus claire et l'existence de quelques concrétions.

Ces sols offrent une perméabilité bonne à moyennement bonne qui est accrue par la présence des cailloux et qui n'est pas gênée par un substratum imperméable.

Nous avons étudié ce type de sol en examinant 6 profils dans une parcelle mise en culture (abricotiers) en 1956. Nous pourrons ainsi, partant d'un sol vierge, suivre avec précision les effets du ruissellement.

3° **Sols sur sables miocènes.**

Les formations sableuses donnent naissance à des sols peu évolués de couleur gris très clair dont les différents horizons sont très peu différenciés. Leur perméabilité est moyenne, et ils ont une certaine tendance au tassement. En profondeur les chevelues radiculaires s'étalent vers

TABLEAU III

Sols sur sables miocènes.

N° de prélèvement	66 (A_1)	67 (C)	68 (C)	75	76
Type	Haut de pente			Bas de pente	
Profondeur	0–20	20–30	30–50	0–10	10–30
Argile	12,3	13	13,6	9,4	12
Limon	27,8	25,6	22,2	25,2	21,2
Sables très fins	24,6	23,7	24,5	21,5	24
Sables fins	34,8	37,7	38,2	36,4	36,5
Sables grossiers	2,1	1	0,8	8,7	7,3
Calcaire total	27,3	25,8	26,1	22,6	23
Calcaire actif	5,25	5,25	5,5	4	4,8
pH	8,2	8,9	8,9	7,7	8
C‰	5,3	1,95	1,1	18	8,1
N‰	0,32	0,19	0,12	1,14	0,37
C/N	16,5	10	8,9	15,8	22
Perméabilité p en cm/heure	1,9	1,5	1,3	9,1	1,5
Cailloux 2 mm en % de terre totale	0	0	0	4	1

40-50 cm et sont localisés au niveau de petits lits horizontaux, caractérisés par la présence d'oxydes de fer de couleur rouille. Mises à part les variations dans les teneurs très faibles en matières organiques, le profil est uniforme dans toute son épaisseur et présente seulement un horizon(A) embryonnaire (Profil : (A) C).

Le profil est légèrement différent lorsque l'on considère un sol situé en bas de pente. On peut noter la présence d'un horizon (Ao) gris beige, (A_1) gris beige clair enfin, d'un horizon C gris clair. (fig 3).

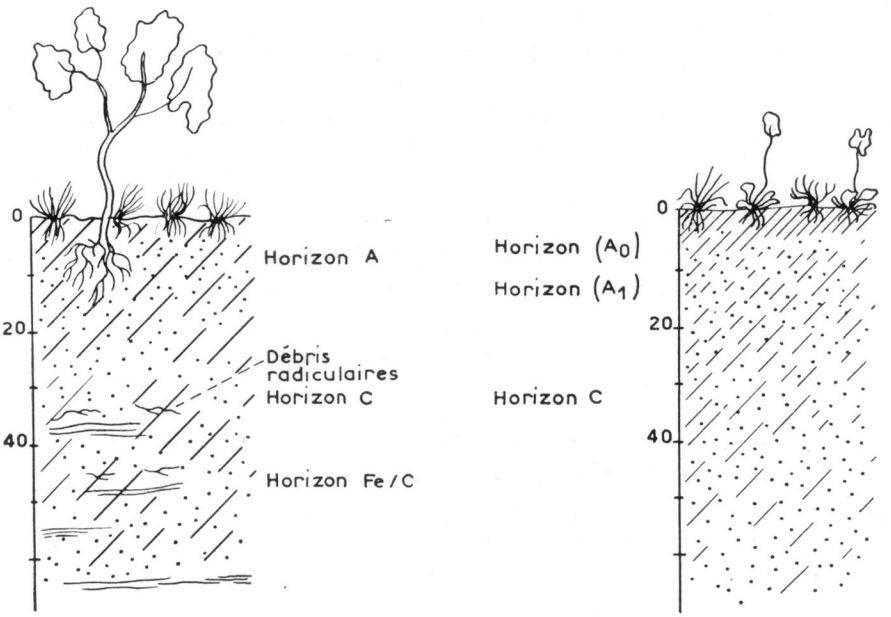


FIG. 3. — Sol sur sables miocènes. 1° Haut de pente. — 2° Bas de pente.

La teneur en matières organiques est alors plus élevée, car le profil n'est pas constamment tronqué par l'érosion en couche. De plus, la teneur en éléments calcaires est plus faible par suite de l'évolution de la roche-mère et de la stabilisation des horizons superficiels.

En fait, si l'on examine une tranchée profonde dans ces sables mollassiques, on observe un profil plus complet (voir photographie n° 2) qui rappelle (et permet de préciser) un profil décrit à Châteauneuf-du-Pape dans les mêmes formations (3). Sur 2,50 m d'épaisseur, on obtient le profil suivant :

0 à 25 cm = Horizon (A) de couleur brun très clair, sablo-limoneux
25 à 70 cm = Horizon A/(B) gris-clair formant transition
70 à 85 cm = Horizon (B)/Ca, gris très clair avec enrichissement visible en calcaire sous forme de bodules pulvérulents.

Au-dessous de 85 cm = Horizon Ca/C. Une série de niveaux successivement argileux feuilletés et sableux fins et grossiers, constitue le faciés supérieur de la roche-mère. Les lits argileux, présentant souvent des lentilles sableuses allongées, forment des horizons d'accumulation calcaire pulvérulent et de nodules calcaires indurés.

4° Conclusions à l'étude des sols.

Ces 3 types de sols présentent des textures limono-sableuses ou sablo-limoneuses à sable fin dominant ; pour les sols riches en cailloux, il existe une perméabilité en grand dans l'horizon supérieur, réduite par l'imperméabilité des horizons inférieurs enrichis en argile (tableau I). Pour les autres types, le rapport Argile/Limon étant faible, on a affaire à des terres battantes.

L'observation sur le terrain montre que la stabilité de leur structure et leur résistance à l'érosion sont très faibles.

Ils vont donc constituer un matériel très érodable. Nous étudierons successivement les conditions locales qui régissent l'érosion, les modifications que celle-ci apporte aux propriétés physiques et mécaniques des sols, et enfin les variations des propriétés chimiques.

III. — ETUDE DES PHÉNOMÉNES D'ÉROSION.

A. — Conditions locales.

Ces collines mollassiques, surmontées de la terrasse pliocène, ont été depuis longtemps occupées et cultivées.

Il s'en est suivi une disparition rapide de la couverture naturelle et la formation de ravins d'érosion.

Cette couverture de végétation naturelle n'est plus représentée actuellement que sur les sommets, avec les formations de garrigue. Les formations arbustives sont réduites aux buissons de chêne vert et le tapis végétal n'est constitué que par des touffes clairsemées (lavande, thym et graminées).

La présence de nombreux cailloux en surface, réduit cependant l'action de l'impact direct de la pluie, mais le type de sol sur cailloutis, présentant un horizon B_1 peu perméable, le sol est rapidement gorgé d'eau, des nappes d'eau temporaires se forment à la surface et, sur les bords déclives de la terrasse, le ruissellement devient rapide. On observe fréquemment dans la végétation spontanée à côté des plantes xérophytes citées plus haut, des touffes de joncs, et de carex qui indiquent des conditions temporaires d'humidité élevée. Nous observons égale-

ment l'existence d'un ruissellement au niveau de l'horizon B_1, ruissellement qui contribue à former la lame d'eau qui se déverse sur les sables mollassiques des pentes.

L'action de la mise en culture des sols sur terrasse (abricotiers, vigne) lorsqu'elle s'accompagne d'un défoncement, permet une pénétration plus importante de l'eau par destruction des horizons B_1 et B_2 (fig. 2), lorsqu'ils ne sont pas trop profonds. Ces eaux alimentent des nappes qui ressortent également à la base des terrasses et alimentent des thalwegs à débit intermittent. Des noms vernaculaires locaux permettent de localiser les points de sortie de telles nappes qui augmentent le ruissellement sur les pentes (en période pluvieuse prolongée) « Les Eaux pendantes », « Les Eaux de Bel-Air », « Les Aiguardins » etc...

La mollasse sableuse miocène ou les colluvions du cailloutis sont soumises à des conditions de sécheresse et d'aridité très fortes au cours de l'été, aussi ne portent-elles qu'une végétation xérophile, clairsemée, qui n'offre aucune protection contre l'érosion (chêne vert, genêt). En dehors de quelques olivettes, au sol engazonné, l'occupation agricole de cette région tend à accentuer les risques d'érosion, sauf s'il y a défoncement : cerisier, vigne, asperges.

Par contre, les sols sur basse terrasse sont bien moins sensibles et, les pentes étant moindres, on ne remarque que des effets très faibles du ruissellement.

B. — Action sur les propriétés des sols.

Nous avons à considérer que, à côté de la perte de sol qui est l'aspect primaire des effets de l'érosion, des conséquences importantes pour les qualités des sols, ont été souvent remarquées.

1° Texture et propriétés physiques.

Les sols sur sables mollassiques sont du type limon sableux avec prédominance des sables fins. Lorsqu'ils sont soumis à l'érosion, dans la zône de départ, leur texture varie peu ; mais, dans la zône d'érosion franche en rigoles, les pourcentages d'argile et de limon baissent considérablement au profit des sables fins et très fins (limon très sableux).

Les horizons superficiels de la zône de colluvionnement deviennent des limons fins argileux (80 à 90 p. 100 d'argile + limon) ; les horizons profonds qui ont été travaillés par les labours (mélange des limons de ruissellement avec le sol initial) tendent vers des sols de limons à sables très fins : l'enrichissement en argile étant moindre que l'enrichissement en limon, on a un applatissement de l'histogramme granulométrique (tableau IV).

Dans ce qui va suivre, nous présenterons les résultats obtenus sur 12 échantillons prélevés dans une vigne (voir schéma fig. 4). Les échantillons 66, (67), (68), 75 (76) ont déjà été décrits plus haut (tableau III). L'échantillon 69, son sous-sol (70), et le 71 ont été prélevés entre les rangs de vigne (voir fig. 5) dans la zône de départ de l'érosion, qui subit également les apports de ruissellement du talus et du chemin (quelques cailloux en surface, aucun en profondeur).

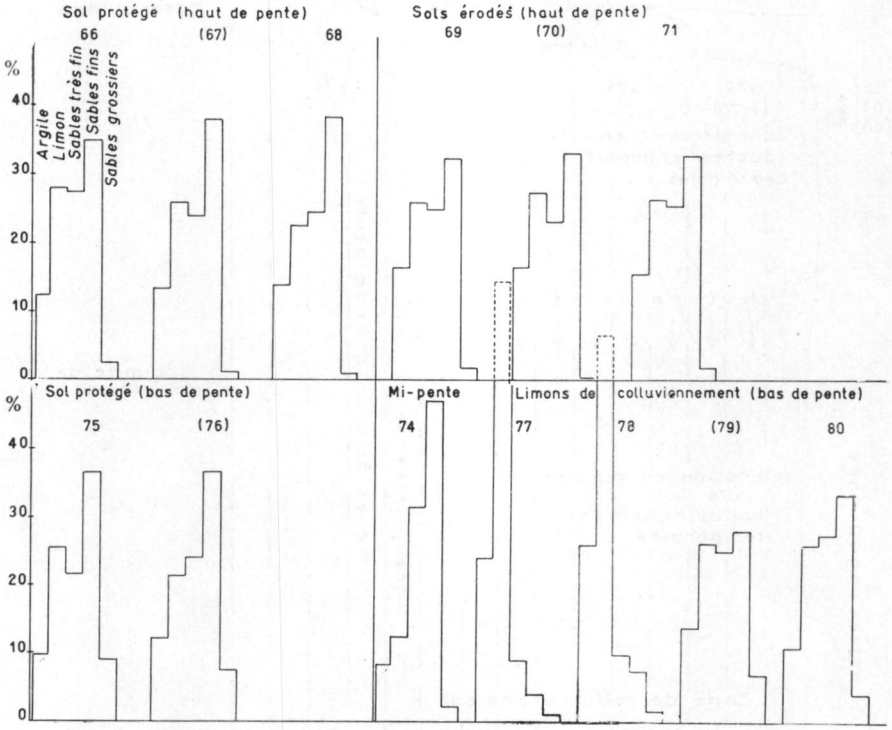


Tableau IV — Variations des compositions granulométriques.

L'échantillon 74 entre les rangées provient d'une zône où se produit un colluvionnement intermittent, attaqué en période de précipitations violentes par un ravinement en rigoles de 2 à 3 cm de profondeur.

Les numéros 77 à 80 ont été prélevés dans la zône basse du champ, le dernier (nº 80) provenant du sommet de la rangée de vigne (matériaux mélangés par les labours).

L'action de l'érosion sur les parties hautes correspond à une augmentation de la compacité du sol, par entrainement progressif des horizons supérieurs et, sur les parties basses, à l'accumulation de particules fines, se déposant en couches et formant des croutes, se fragmentant par dessication. De plus alors que le sol de l'olivette protégée (nº 75)

présente une stabilité de structure moyenne, cette stabilité devient nulle pour le sous-sol (68) et pour tous les autres échantillons : le moindre filet d'eau qui ruisselle entraîne de fines particules, puis devient trouble.

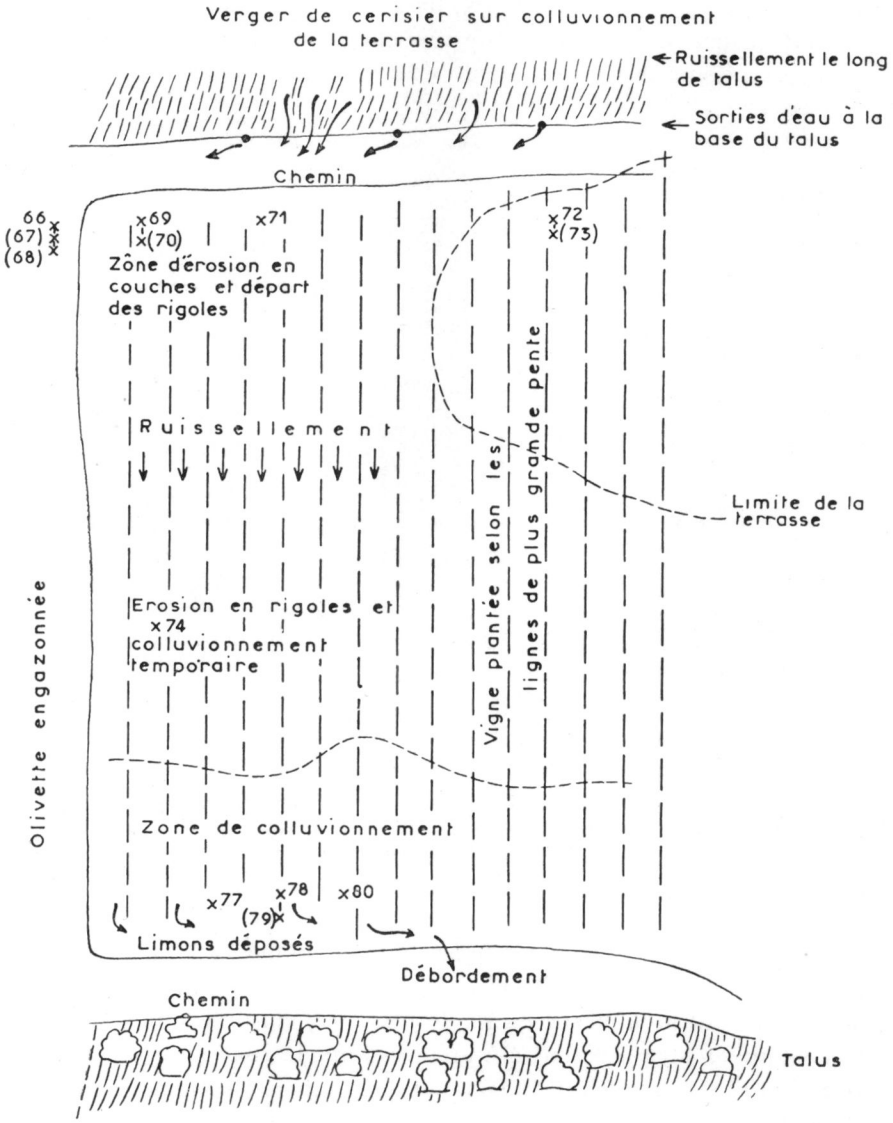


FIG. 4. — Schéma de l'érosion dans une parcelle sur sables miocènes.
(les prélèvements de sous-sol sont indiqués entre parenthèses).

L'application de la méthode préconisée par HENIN, ROBICHET et JONGERIUS (4), si elle conduit à des chiffres acceptables pour le sol en place, recouvert par la végétation (Is = 39 pour 75 et 92 pour (76), donne,

par contre, des chiffres extrêmement élevés pour les autres prélèvements, sauf pour le (79), pour lequel $I_s = 72$. Pour les sols en place et

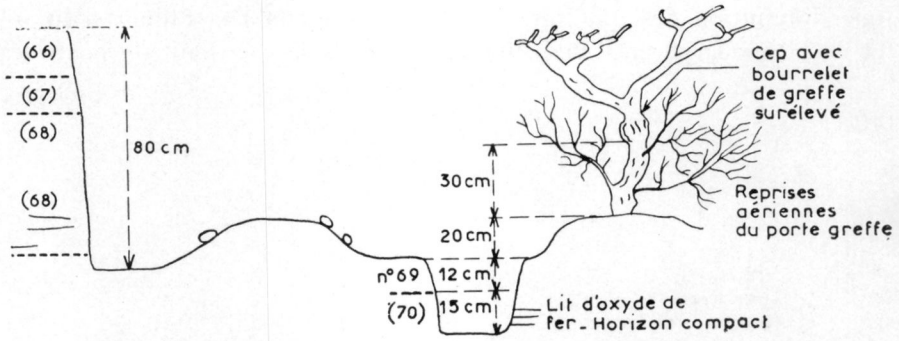


FIG. 5. — Localisation des prélèvements 66 à (70).

érodés, comme pour les limons de colluvionnement, les agrégats à l'eau après les traitements à l'alcool et au benzène, diffèrent à peine des sables

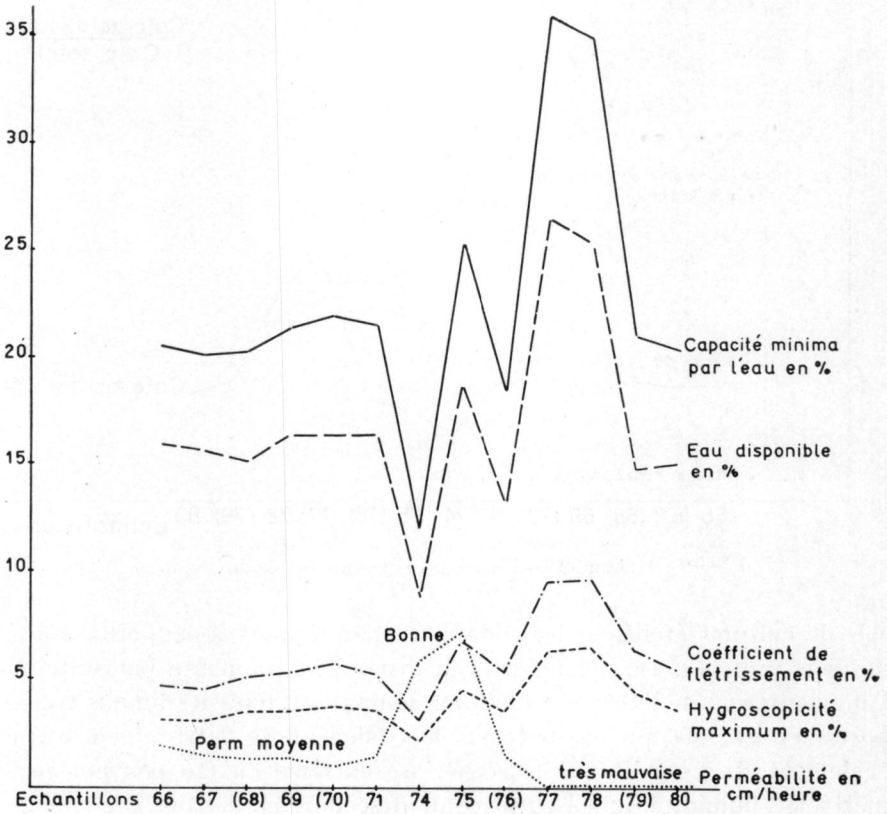


Tableau V. — Rapports du sol et de l'eau.

grossiers et les éléments fins (argile + limon) atteignent également un pourcentage élevé de l'argile et du limon extraits au citrate.

En relation, avec ces variations de propriétés physiques, on obtient une diminution des qualités hydrodynamiques et des rapports du sol et de l'eau ; la perméabilité diminue pour les sols en haut de pente les

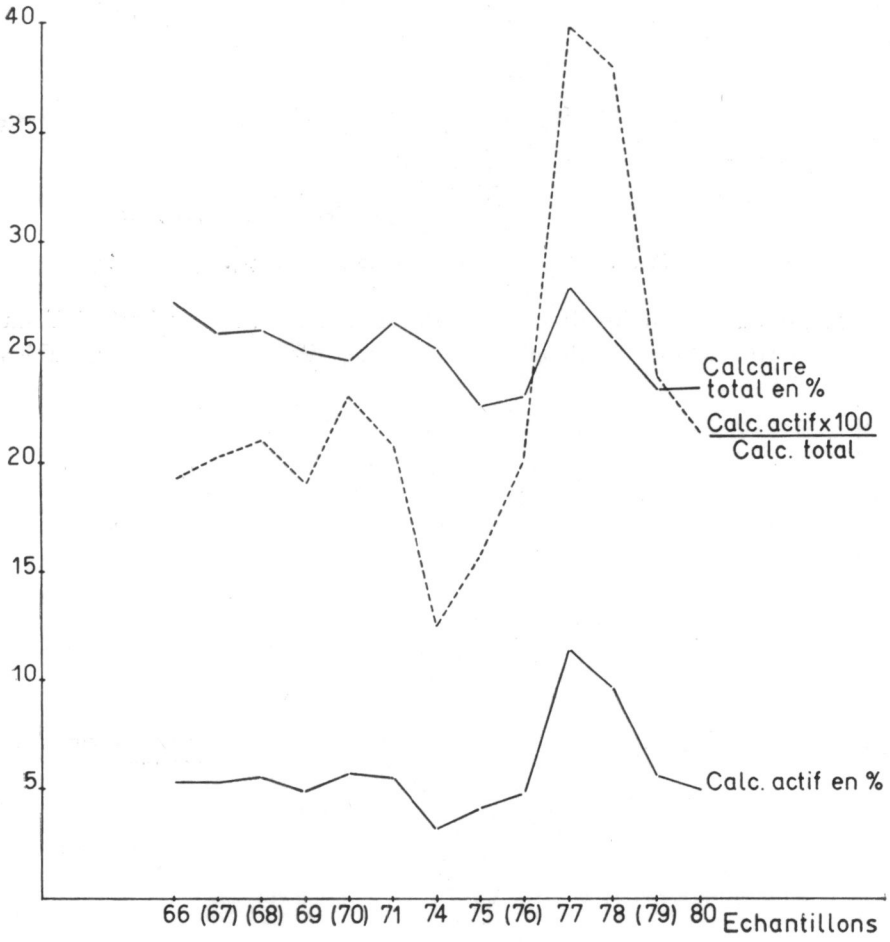


Tableau VI — Variations des teneurs en calcaire.

sols de cultures érodés et les colluvions, par rapport à la perméabilité des sols protégés. De même, si l'eau disponible augmente par suite de l'augmentation de la capacité minima pour l'eau, dans les limons transportés et les sols qui en dérivent, le cœfficient de flétrissement varie également. Les conditions de sécheresse extrême en été peuvent permettre à l'humidité du sol en place de descendre en-dessous des valeurs correspondants à ce point de flétrissement (tableau V).

2° Propriétés chimiques.

a) Calcaire — Les sols en haut de pente sont très calcaires (25 à 28 p. 100), de teneurs moyennes en calcaire actif (5 p. 100).

Les sols en bas de pente et protégés sont moins calcaires, mais une augmentation a lieu pour les limons de colluvionnement, le calcaire actif atteignant 11,5 p. 100. Ceci est dû au fait que ces limons sont surtout enrichis en argile et limon qui sont riches en calcaire très fin (pour le n° 77, on a 24,9 p. 100 de calcaire provenant de l'argile et du limon, contre 10,7 p. 100 seulement pour le n° 66).

b) Matieres organiques. — On constate également que les teneurs en carbone, en azote et en acides humiques sont bien plus élevées dans les limons colluviaux que dans les sols vierges et cultivés dont ils dérivent (tableau VIII), exception faite pour l'horizon A du profil 75-76.

Tableau VII

Répartition du Calcaire

	66	(67)	(68)	69	(70)	71	74	75	(76)	77	78	(79)	80
Sables très fins calcaires	6,8	5,7	5,8	6,1	5,8	6,4	9,9	5,7	6	2,2	2,3	6,2	6,8
Sables fins calcaires ...	9,0	9,3	9,4	7,4	8	8,9	11,5	8	8	0,8	1,4	6	7,8
Sables grossiers calcaires	0,8	0,4	0,3	0,5	0,1	0,8	0,8	3,2	2,6	0,2	0,5	2,2	1,4
Sables totaux calcaires.	16,6	15,4	15,5	14	13,9	16,1	22,2	16,9	16,6	3,2	4,2	14,4	16
Argile + Limon calcaire	10,7	10,4	10,5	11	10,7	10,4	3,0	5,7	6,4	24,8	21,5	9,0	7,4
Calcaire total.....	27,3	25,8	26,0	25	24,6	26,5	25,2	22,6	23	28	25,7	23,4	23,4
Calcaire actif.....	5,25	5,25	5,5	4,75	5,65	5,5	3,15	4,0	4,8	11,45	9,75	5,6	5

c) Elements mineraux. — L'analyse des sols en place, soumis à l'érosion, des sols protégés, et des limons de colluvionnement révèle un transport important des cations minéraux comme K^+ et Mn^{++}, moins marqué, mais cependant existant pour P_2O_5.

Il en est de même pour P_2O_5 assimilable, K_2O et Mn échangeables. Enfin les rapports « éléments échangeables ou assimilables sur éléments totaux «, montrant que les produits de colluvionnement sont notablement plus riches que pour les sols en place. Ceci est, sans doute, lié à la granulométrie particulière des colluvions d'une part, et d'autre part, à l'évaporation sur place des eaux de ruissellement, rassemblées dans les parties basses. Nous avions déjà signalé ce fait (2), du moins pour P_2O_5 dans une étude précédente ; nous n'avions pas obtenu pour K_2O de différences notables ; mais alors les eaux de ruissellement, par suite de la topographie, ne pouvaient pas séjourner dans la zône de colluvionne-

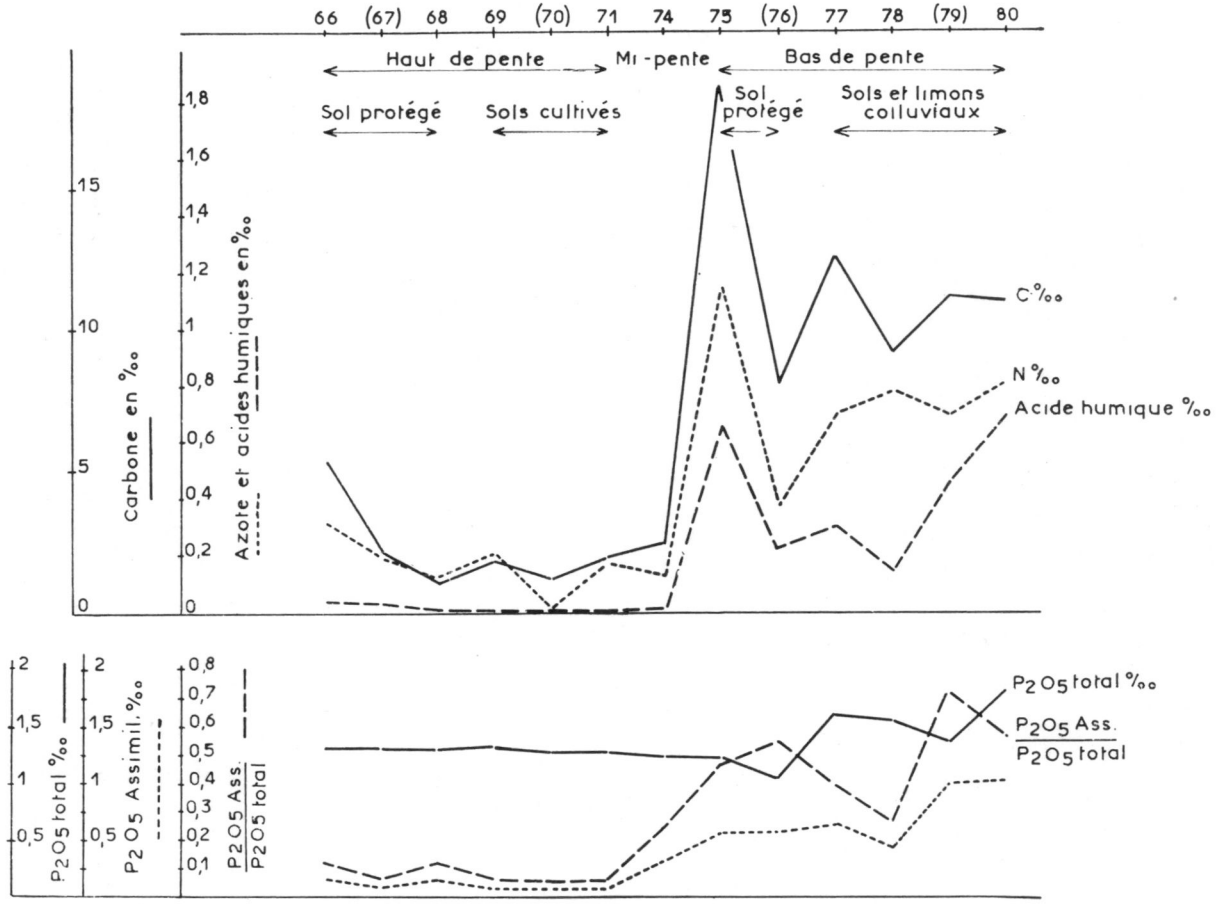


Tableau VIII — Variations des propriétés chimiques.

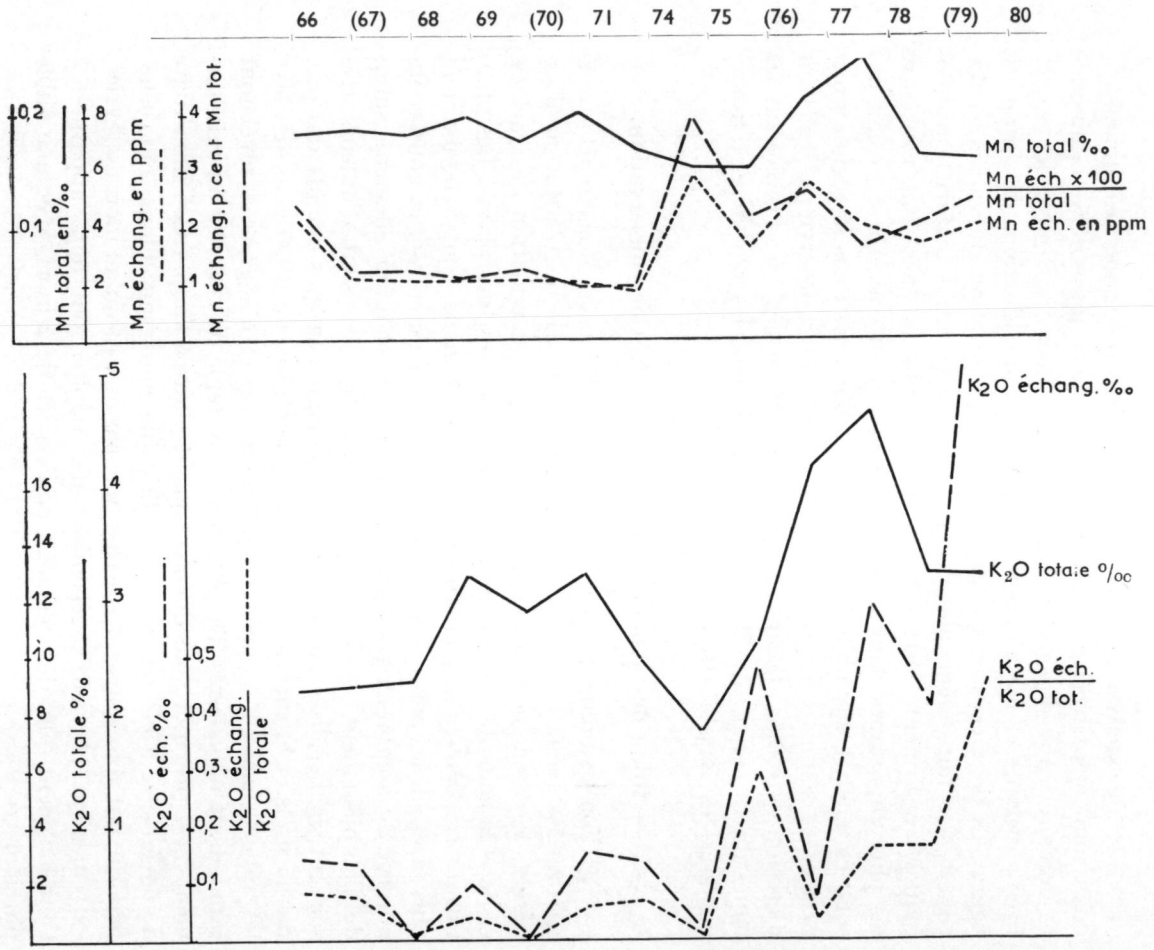


Tableau IX — Variations des propriétés chimiques.

ment, tandis que, dans le cas présent, l'entraînement n'est total que dans l'éventualité de fortes précipitations.

3° Conclusions.

L'étude analytique précédente montre donc que les limons de colluvionnement recélent en quelque sorte une certaine richesse minérale et organique aux dépens des sols d'origine ; mais par contre, leurs qualités physiques et mécaniques apportent des modifications défavorables, aggravées pour certaines cultures par l'augmentation du calcaire chlorosant. Ces faits, déjà mis en évidence pour d'autres matériels pédologiques, confirment notre opinion que ces phénomènes sont peut être les plus importants dans nos régions, en ce qui concerne l'érosion des sols. En effet, l'ensemble des formations analogues dans la région prospectée, est soumis à ce processus, alors que l'on n'y observe pas les faciès d'érosion extrêmes, décrits aux « Fosses de Fournès « ou visibles sur les flancs du Lubéron, des Monts de Vaucluse, dans les Baronnies (Drôme) ou dans les Basses-Alpes.

C. — Bilan des dégâts causés et possibilités de conservation.

Si l'on examine sur ces sols les dégâts causés, nous rencontrons partout les mêmes effets de l'érosion. Dans le cas de plantation d'asperges, le ravinement a lieu rapidement, avec dénudation des racines, et dans la zône de colluvionnement, dépérissement des plants. Les plantations fruitières, assez nombreuses sur les sommets, sont heureusement plus rares sur les pentes, mais elles tendent à se généraliser et nous avons observé de nombreux travaux de défoncement et de nivellement, suivis de l'établissement de jeunes plants. Ces travaux sont d'ailleurs très souvent, mal réalisés ; ils ne tiennent généralement pas compte des profils naturels et la surface obtenue se situe au niveau d'horizons stériles : les apports massifs d'amendements humifères et d'engrais se révèleront rapidement nécessaires. De plus, aucun système de contrôle du ruissellement n'est prévu et nous devons nous attendre à l'apparition immédiate d'une érosion accélérée. Les parcelles que nous surveillons, ont bénéficié du fait que l'hiver 1956-1957 n'a pas été, jusqu'au mois de février, extrêmement pluvieux ; cependant des rigoles sont déjà apparues, à l'emplacement d'un défoncement, en l'espace de 2 mois, avec une faible pluviométrie.

Pour la vigne, les dégâts sont de plusieurs sortes ; le déchaussement des ceps qui peut atteindre 70 à 80 cm indique la perte de profondeur effective depuis la plantation. Dans la zône de déchaussement (zône érodée), il y a reprise d'activité individuelle du porte-greffe, dépérissement et mort de la vigne. Dans la zône d'alluvionnement, il y a nivelle-

ment des ados et des interlignes qui tendent, avant les labours de printemps à former une surface plâne. Les limons recouvrent peu à peu le cep jusqu'au niveau de la fourche ; le pied de vigne vivant dans un sol devenu trop compact, dépérit et meurt. Pour avoir une idée de l'intensité des phénomènes de transport de matériaux, il suffit de constater qu'au sommet de la parcelle représentée sur la figure 4, le niveau de l'olivette contigue dépasse de 80 cm, le niveau moyen de la vigne, alors qu'au bas de la pente, c'est la vigne qui est surélevée de 10 à 15 cm par rapports à l'Olivette.

Les erreurs commises dans toute cette zône et qui ont été notées, sont les suivantes :

1° Orientation défectueuse des parcelles, souvent dans le sens de la plus grande pente.

2° Plantation en lignes suivant la plus grande pente.

3° Absence d'entretien des talus séparant chaque parcelle.

4° Ruissellement anarchique, et, parfois, contrôlé d'une façon absolument contraire aux règles permettant d'assurer un écoulement inoffensif.

5° Destruction par l'arrachage ou par le feu, des broussailles et du tapis herbacé naturel.

6° Mauvais entretien des chemins.

Il faut noter et insister sur le fait suivant, fréquemment observé : *les agriculteurs s'obstinent à remplacer les pieds manquants dans les zônes de départ d'érosion ou dans les zônes de colluvionnement sans s'inquiéter des causes du dépérissement,* puisqu'ils n'appliquent pas de mesure de contrôle du ruissellement.

Les terrasses anciennes et leur talus sont totalement abandonnées.

Etant donné les propriétés physiques des sols en cause, il suffirait de mesures extrêmement simples pour agir avec efficacité, même dans le cas le plus défavorable.

IV. — CONCLUSIONS.

L'économie agricole des régions de collines de mollasse sableuse de la rive gauche du Rhône est actuellement basée sur la vigne. La vocation naturelle de ces sols ne permet guère que la culture, assez limitée toutefois, de l'asperge ou le développement des cultures fruitières (cerisier et abricotier).

La restauration de l'oliveraie méridionale, après l'hiver rigoureux de 1955-1956 peut trouver là des terrains favorables.

Mais toutes ces cultures n'apportent au sol qu'une protection limitée. Or, nous avons vu qu'en *l'absence de mesures convenables,* la sensibilité de ces sols à l'érosion, est grande.

L'action du ruissellement provoque, par la troncature des profils, par la baisse des fertilités organiques et minérales et par les modifications physiques, des dépérissements végétatifs entraînant non seulement des baisses de rendements, mais encore la mort de la plante cultivée. Il est possible de constater une méconnaissance totale de la question de l'érosion des sols auprès de la plupart des agriculteurs. Pour conserver à la vigne ou aux arbres fruitiers, les sols de côteaux et pour réserver à d'autres cultures irrigables les basses terrasses, il est nécessaire de mettre en évidence les phénomènes d'érosion, leurs causes et les remèdes faute de quoi, des surfaces importantes seront l'objet de soins ou d'investissements inutiles (plants, engrais, produits phytopharmaceutiques etc.), en n'apportant pas d'accroissements sensibles des rendements. Dans le cas le plus défavorable, la destruction des sols atteindra une intensité telle que l'abandon de toute pratique agricole s'imposera d'une façon inéluctable, comme cela s'est déjà produit dans de nombreuses localités.

De même que, dans le Gard, nous concluons donc à la nécessité d'une vulgarisation et d'une diffusion de tous les aspects de ce problème, afin que l'application des mesures de conservation des sols soit pour l'agriculteur, une préoccupation constante, qu'il s'agisse de mise en culture ou de la protection de cultures existantes.

RÉSUMÉ

Ce deuxième mémoire sur l'étude de l'érosion des sols du Bas-Rhône est plus spécialement consacré aux sols sur sables miocènes et pliocènes dans le Vaucluse.

L'auteur examine tout d'abord le milieu naturel (géographie, étude des sols en place) pour ensuite étudier en détail les phénomènes d'érosion.

Les cultures principales (vigne, olivier, cerisier, abricotier) n'apportent au sol qu'une protection limitée.

L'action du ruissellement provoque des dépérissements végétatifs entraînant non seulement des baisses de rendements, mais encore la mort de la plante cultivée.

L'auteur conclut à la nécessité de mettre en évidence les phénomènes d'érosion, leurs causes et les remèdes, faute de quoi, des surfaces importantes seront l'objet de soins ou d'investissements inutiles, en n'apportant pas d'accroissements sensibles des rendements.

SUMMARY

This second report on the study of soil erosion in the Lower-Rhône valley deals especially with soils on the Miocene and Pliocene sands in the Vaucluse.

A discussion of the natural environment (geography, soils) is followed by a detailed study of erosion phenomena.

The main crops (vine, olive, cherry, apricot) supply only a limited protection to the soil.

Run-off results in a decline of plant growth, leading to low yields and death of the cultivated plants.

The need is stressed for establishing the causes and remedies of the erosion phenomena, lest useless efforts and expenditure be wasted over large areas without any notable increase in yields.

ZUSAMMENFASSUNG

Diese zweite Denkschrift über die Untersuchung der Bodenerosion im Niederrhônetal befasst sich speziell mit den Böden die auf Sandablageungen der Miozän-und Pliozänzeit im Vaucluse sich entwickelt haben.

Der Autor untersucht zuerst die natürlichen Umweltbedingungen (Erdkunde, Untersuchung der Böden) um danach die Erosionsprozesse mit Genauigkeit zu untersuchen.

Die Hauptkulturen (Reben, Oliven, Kirsch-, Aprikosenbäume) geben dem Boden nur einen beschränkten Schutz.

Das oberflächigen Abfliessen des Regenwassers bewirkt ein Absterben der Pflanzen, was nicht nur eine Ertragssenkung sondern auch das Zugrundegehen der bebauten Pflanzen verursacht.

Der Autor schliesst daraus, dass es notwendig ist die Erosionsprozesse, ihre Ursachen und die Gegenmassnahmen klar zu veranschaulichen damit nicht auf beträchtlichen Flächen, Arbeit und Geld vergebens ausgegeben werden.

Дοбавление к изучению эрозии почв Нижней Роны (Bas-Rhône). Монтфаветская Агрономическая Станция (Воклюз = Vaucluse).

ГЕННЕЛОН.

РЕЗЮМЕ

Эта вторая работа касающаяся изучения эрозии почв Нижней Роны посвящена преимущественно почвам на миоценовых и плиоценовых песках департамента Воклюз (Vaucluse).

Автор изучает сначала природную среду (географию, изучение почв сформированных на месте), потом детально явления эрозии.

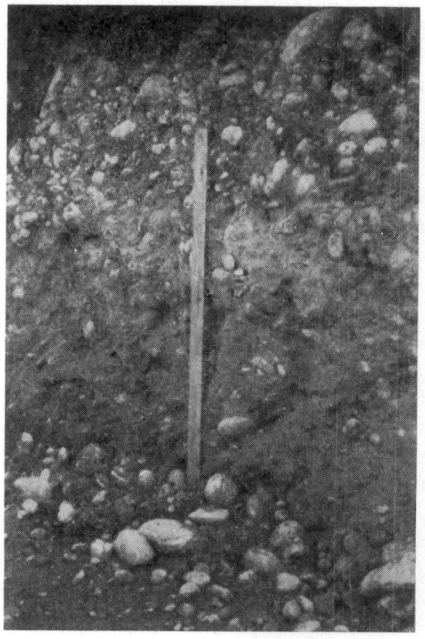
Главные местные культуры (виноград, оливковое дерево, вишня, абрикос) только слабо обезпечивают защиту почвы.

Действие текущей на поверхности почвы воды вызывает ослабление растений, определяющее не только понижение производительности, но даже смерть культурного растения.

Автор приходит к заключению, что необходимо обратить внимание на явления эрозии, на их причины и способы их устранения, так как в противном случае значительные поверхности будут объектом забот и расходов бесполезных и не приносящих заметного увеличения производительности.

Documents photographiques.

Sols naturels en place.



Photographie n° 1. — Sol sur colluvions de cailloux roulés et sables miocènes. Les éléments sableux et les cailloux ont été mélangés par remaniement, à la surface des assises miocènes. Le sol formé a subi un début de lessivage de CO_3Ca caractérisé par une bande légèrement plus claire à la base de l'horizon A, plus riche en cailloux, lessivage facilité par le drainage facile dans les sables de substratum.

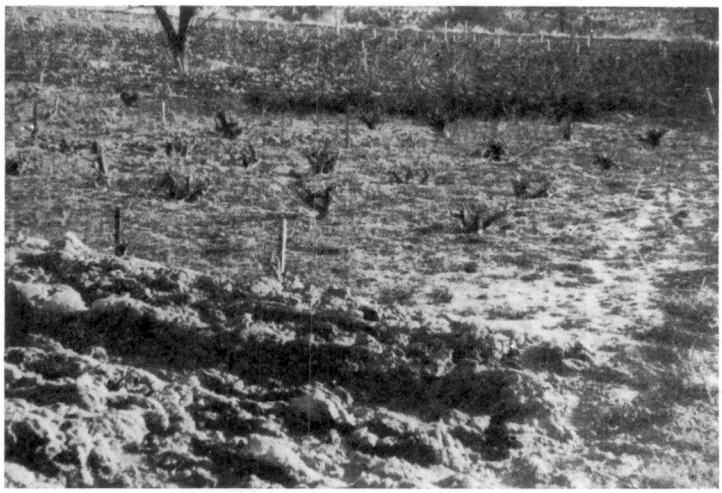
Photographie n° 2. — Sol vierge sur sables molassiques miocènes. On y distingue les horizons (A_0) et (A_1) d'une épaisseur de 20 à 40 cm, reposant sur l'horizon C.

A partir de 80 cm environ, la roche-mère présente des variations de faciès, sous forme de bancs argileux s'intercalant dans les sables, avec dépôts de CO_3Ca pulvérulent, parfois concrétionnés.

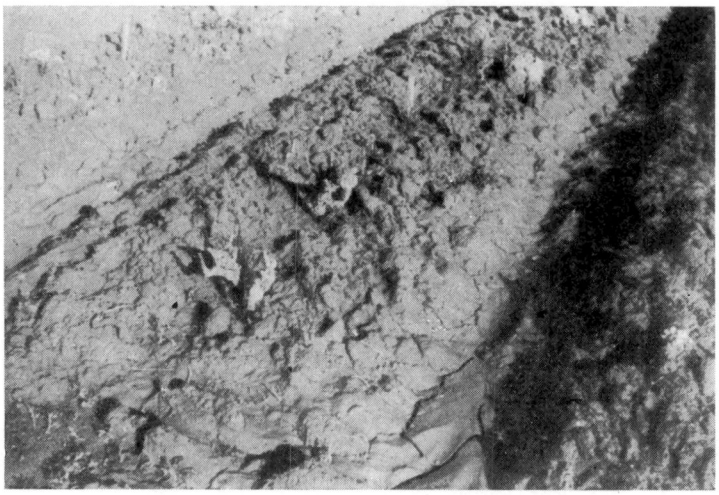
Photographie nº 3. — L'eau qui ruisselle le long du talus, ou qui sort en résurgence, se canalise rapidement en rigoles, ravinant la molasse sableuse à nu.

Photographie nº 4. — Le ruissellement ainsi concentré dès son départ, attaque directement le sol, en entraînant parfois des cailloux et en creusant de profondes rigoles. L'érosion va donc débuter immédiatement par une forme déjà grave.

Alluvionnement

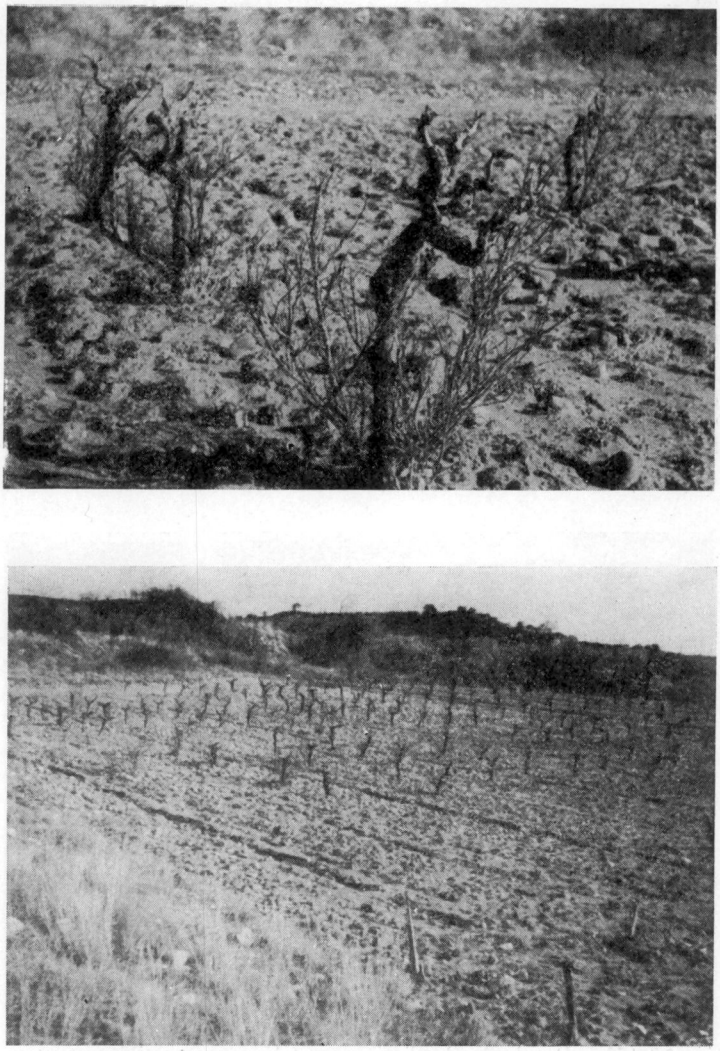


Photographie n° 5. — Dans la zône du colluvionnement, les ados sur lesquels sont plantés les ceps, disparaissent avec obtention d'une surface absolument plane ; les labours restituent au champ une allure normale.



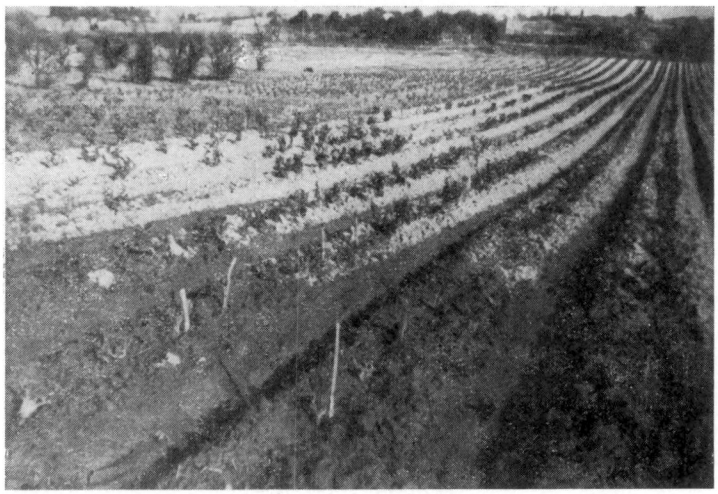
Photographie n° 6. — Rapidement, dès les premières pluies après les labours, par le limonage et la désagrégation des mottes, il se produit à nouveau un nivellement. Les limons argileux déposés, se fendent et s'exfolient par dessèchement, avec formation de croûtes très dures.

Action sur la culture



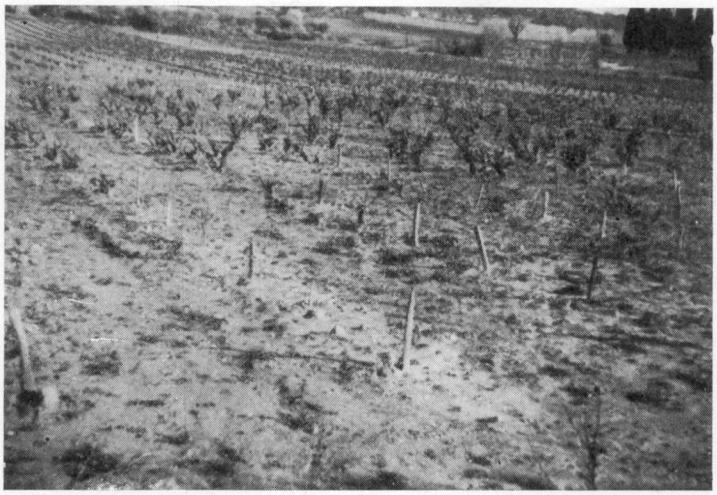
Photographies nº 7 et 8. — Dans la zône de départ de l'érosion, le cep est entièrement déchaussé (comparer avec la photographie nº 9) ; la végétation est mauvaise, le porte-greffe prend un grand développement aérien et la souche meurt. Les manquants sont nombreux dans la zône érodée (75 à 80 p. 100).

Action sur la culture

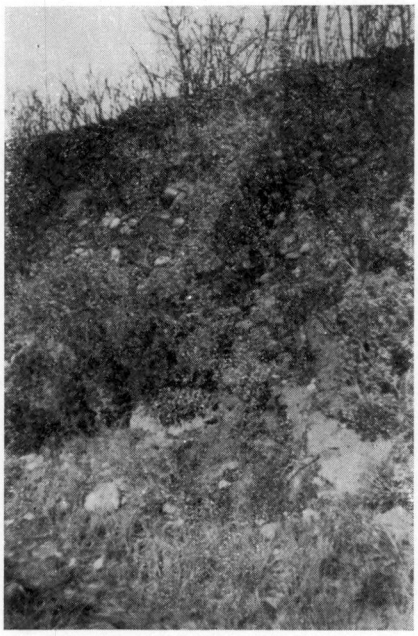


Photographie nº 9 et 10. — Dans la zône de colluvionnement, les ceps sont entièrement enterrés jusqu'à la fourche. Ils sont soumis en période humide aux conditions asphyxiantes d'un sol très compact, gorgé d'eau, et retenant longtemps un excès d'humidité (voir photographie nº 11) En période sèche, les limons se craquèlent, le sol devient dur, et son point de flétrissement élevé créé des conditions hydriques défavorables. Les manquants sont nombreux (100 p. 100 dans la zône d'alluvionnement intense) et, cependant, l'agriculteur les remplace sans rien changer au régime de ruissellement de sa parcelle.

Causes du ruissellement



Photographie nº 11. — Le mode de culture qui consiste à tracer les sillons suivants la plus grande pente, est responsable de la vélocité du ruissellement et du dépôt des limons. Cette zône de colluvionnement qui recueille la totalité des eaux devient très imperméable, l'eau y stagne plusieurs jours après la pluie, et le sol reste longtemps très humide.



Photographie nº 12. — Ce talus situé au sommet d'une parcelle de vigne reçoit toutes les eaux de la parcelle supérieure. Il n'est protégé par aucun fossé de dérivation et l'eau y ruisselle librement. Cette mauvaise disposition est encore aggravée par le fait que, périodiquement, on détruit, par le feu, les herbes et les broussailles qui y poussent.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) BORDAS (J.). — Contribution à l'étude des Facteurs de la production agricole du Bas-Rhône. Thèse, Avignon 1950.
(2) GUENNELON (R.). — Contribution à l'étude de l'érosion des sols du Bas-Rhône (I) Cas d'érosion sur vignoble dans le Gard. *Ann. Agron.*, nº 5, sept.-oct. 1956.
(3) GUENNELON (R.). — Présentation de 7 profils pour l'excursion du Congrès International d'Etude des Sols en 1956 (Non publié).
(4) HENIN (s.), ROBICHET et JONGERIUS. — Principes pour l'évaluation de la stabilité de la structure du sol. *Ann. Agron.* nº 4, Juillet-Août, 1955.

DOSAGE DE QUANTITÉS MINIMES DE MAGNÉSIUM EN PRÉSENCE DE QUANTITÉS IMPORTANTES DE CALCIUM

PAR

P. LEFÈVRE

Station d'Agronomie, Amiens.

PLAN DU MÉMOIRE

I. — Introduction : Difficultés rencontrées dans ce dosage.
II. — Méthode employée.
III. — Remarques : Influences diverses.
IV. — Résultats.
V. — Essais d'autres indicateurs.
VI. — Conclusion.

INTRODUCTION

Difficultés rencontrées dans ce dosage.

Le dosage du calcium et du magnésium par le versénate (EDTA ou sel disodique de l'acide éthylène diamine tétraacétique, H_4F, etc...) est maintenant une pratique courante et de nombreux auteurs ont publié des notes concernant l'amélioration de la technique de dosage (1).

Après les travaux de base de SCHWARZENBACH et de ses collaborateurs (12) d'autres études ont porté sur l'aspect théorique de la méthode (1, 2, 3).

Parmi les recherches récentes, les buts ont varié : les uns ont étudié l'élimination des ions génants (14 à 23, 28-29), la séparation du Ca de Mg (24 à 27), les autres, pour rendre plus précise la fin du dosage, utilisant

(1) En 1954, MARTEL et CHABERCK indiquent déjà plus de 150 notes sur cette question.

de nouveaux indicateurs (34 à 41) ou des appareils électriques de mesure, coulométrie (48), ampèrométrie (46, 47), conductimétrie (43, 44), photométrie (42, 45) par observation directe ou enregistrement automatique.

Les conditions théoriques et techniques ont donc été bien précisées. Mais en utilisant le versénate dans le dosage des bases échangeables, suivant la technique préconisée par METSON (10), nous nous sommes trouvés devant une certaine difficulté du fait que, dans les sols de la région, les rapports de Ca au Mg variaient couramment de 10 à 20 contre 1. Ceci conduisait, avec des volumes normalement acceptables de réactif pour Ca, à de très faibles volumes pour le dosage du magnésium.

Le mode opératoire indiqué par METSON, pour la détermination des bases échangeables, étant tel que le volume de versénate correspond directement au nombre de milliéquivalents de Ca et Mg pour 100 g de terre, il n'était guère possible d'avoir une grande précision et les valeurs obtenues pour le magnésium en arrivaient à être relativement constantes.

Dans le but de rendre le dosage plus précis nous avons d'abord pensé à employer pour le magnésium un réactif plus dilué ou à augmenter la prise d'essai, mais dans les deux cas, ces techniques, en élevant les volumes pour Mg augmentaient simultanément les quantités de versénate nécessaires au dosage du calcium. Pour cette raison un mode opératoire intermédiaire a été mis au point.

MÉTHODE EMPLOYÉE

a) Principe.

Étant donné que dans les extraits de sol, les quantités de Mg étaient de 10 à 20 fois plus faibles que celles de Ca, nous avons résolu d'opérer de la manière suivante :

Le volume nécessaire au dosage du calcium est déterminé par l'emploi de deux solutions de versénate dont la seconde a une concentration dix fois plus faible que la première.

Le magnésium est alors dosé par la seconde liqueur (1/10) après avoir versé dans la solution à titrer le volume nécessaire au dosage du calcium, et déterminé par le dosage antérieur.

b) Réactifs.

Solution « courante » de EDTA 0,02 n = 0,01 m : Peser 3,725 g de EDTA, dissoudre dans l'eau (1) et compléter à 1 000 cc ;

(1) Eau distillée dans chaque réactif.

— Solution de versénate « dilué » 0,002 n = 0,001 m : Dissoudre 0,372 g de versénate dans l'eau et compléter à 1 000. Ces solutions sont étalonnées avec des solutions témoin de calcium et magnésium ;

— Carbonate de calcium 0,02 n (1 cc = 0,02 m. e.) (10) : Dissoudre 1,001 g de CO_4Ca R. P. dans une petite quantité d'HCl au 1/2 et compléter à 1 000 ;

— Sulfate de magnésium : 0,01 n (1 cc = 0,01 m. e.) (10) : Dissoudre 1,233 g de $SO_4Mg\ 7\ H_2O$ R. P. dans l'eau. Ajouter 1 cc de SO_4H_2 au 1/20 et compléter à 1 000 cc ;

— Sulfate de magnésium : 0,002 n : Dissoudre dans les mêmes conditions 0,247 g de $SO_4Mg\ 7\ H_2O$ R. P. dans 1 000 cc ;

— Murexide : Solution solide dans NaCl R. P. à 1/50, broyer très soigneusement au mortier ;

— Noir Eriochrome T (ou F 241) : La solution alcoolique de cet indicateur (0,1 g dans 25 cc d'alcool méthylique contenant 1 g de chlorhydrate d'hydroxylamine ne doit pas être gardée plus d'une semaine (10).

La solution à 0,2 p. 100 dans la triéthanolamine (12) est trop visqueuse. Aussi est-il préférable d'employer de même une solution solide dans NaCl R. P. au 1/50.

— Cyanure de potassium R. P. à 2 p. 100

— Solution tampon pour le dosage du magnésium. Dissoudre 67,5 g de NH_4Cl R. P. dans environ 200 d'eau. Ajouter 570 cc de $NH_4\ OH$ concentré R. P. d. 0,925 et compléter à 1 000 cc pH 10,1 (9).

— Solution de potasse KOH R. P. à 10 p. 100.

— Burette de précision au 1/20. cc

e) **Technique.**

La technique mise au point ayant été utilisée spécialement au dosage des bases échangeables du sol, nous résumons le mode opératoire suivi avant le dosage (1).

La solution contenant les bases échangées par percolation du sol à l'acétate d'ammoniaque, neutre, normal, est amenée à sec, calcinée et la somme des bases est dosée par simple titration d'alcalinité. Après élimination de P, Al, Fe, Mn, puis destruction des sels ammoniacaux et insolubilisation de la silice, les cations K, Ca, Na, Mg sont remis en solution.

Pour cela le résidu sec est repris par 25 cc d'HCl 0,2 n, filtré sur ballon de 100. Laver à l'eau bouillante, laisser refroidir et compléter à 100 cc.

(1) La technique détaillée de préparation et de dosage des bases échangeables et de la capacité d'échange sera donnée dans un autre mémoire.

Dosage du calcium.

A) *Premier dosage.*

— Prélever 10 cc de solution.

Ajouter :

10 cc d'eau, 2 cc de KOH à 10 p. 100 (le pH doit être de 12 au plus). Au-dessous le dosage n'est pas spécifique pour Ca et Mg interfère (10),

20 mg de murexide dans NaCl (il y a intérêt à employer une quantité précise d'indicateur pour avoir une couleur relativement fixe en intensité et nuance.

Titrer au versénate 0,02 n jusqu'à virage du rose saumon au violet.

A propos de ce dosage METSON (10) écrit :

« Le changement de couleur est graduel et l'indicateur disparaît assez rapidement si bien qu'une solution d'un dosage fraîchement terminé doit être gardée pour la comparaiosn, Une source de lumière bleuâtre, telle celle d'une lampe lumière du jour est judicieuse.

Au « point final » l'addition d'une goutte de versénate en excès ne change pas la couleur.

Il y a grand avantage dans ce dosage à employer un titrimètre photoélectrique simple comprenant : une source lumineuse avec rhéostat, un verre absorbeur de chaleur, un diaphragme iris, un bécher contenant la solution monté sur agitateur magnétique, un filtre coloré approprié (Ilford 603 transmettant aux environs de 500 mμ convient pour le dosage à la murexide), et une cellule photoélectrique connectée à un microampèremètre. Le dosage est terminé quand la déviation atteint son maximum.

B) *Dosage définitif.*

— Reprendre la même prise d'essai.

— Opérer exactement dans les mêmes conditions et verser le versénate 0,02 n goutte à goutte jusqu'au dernier centimètre cube avant le volume définitif du premier dosage (Ex. : 5 cc si le premier a donné 5,7 cc).

— Continuer le dosage en titrant à l'aide d'une deuxième burette contenant le versénate « dilué » (0,002 n) jusqu'à virage au violet.

On obtient ainsi un chiffre double :

cc de versénate 0,02 n	+	cc de versénate 0,002 n
ex. : 5 cc	+ 6,5	ou 5,65

Dosage du magnésium.

— Prélever 10 cc de solution à doser,

— Ajouter :

10 cc d'eau,

20 mg de noir ériochrome T,
5 cc de tampon,
2 cc de KCN,

Verser à la burette goutte à goutte le nombre entier de centimètres cubes de versénate 0,02 n (1e burette) utilisé lors du dosage définitif du Ca, puis à l'aide de la 2e burette le nombre de cc de versénate « dilué » 0,002 n obtenu lors du dosage définitif du Ca,

— Remettre la 2e burette au zéro,

— Chauffer légèrement la solution contenue dans le bécher,

— Titrer au versénate « dilué » jusqu'à virage au bleu pur. (La solution passe du rouge bordeaux au pourpre puis au violet, bleu violet pour terminer par le bleu franc à nuance verte. Tant que le virage n'est pas terminé, une goutte de versénate tombant, en fin de dosage, forme dans le bleu violet/bleu, une teinte turquoise).

On obtient ainsi directement le dosage du magnésium en centimètres cubes de versénate *dilué*.

REMARQUES

Influences diverses.

— Dans tous les cas et comme déjà indiqué (9) titrer très lentement et spécialement à la même vitesse pour le dosage définitif de Ca et celui du Mg.

— Il est possible d'opérer le dosage du Mg à la suite de celui du Ca, après destruction de la couleur dûe à la murexide (10).

Après achèvement du dosage du Ca, ajouter 3 cc HCl au 1/2, laisser disparaître la couleur. Ajouter 5 cc de tampon, 2 cc de KCN, l'indicateur, et continuer le dosage au versénate « dilué ».

Le deuxième titrage représente le magnésium.

— L'emploi de KCN, utilisé normalement pour bloquer les ions gênants, nous a semblé particulièrement utile pour obtenir un très beau bleu franc, alors qu'en l'absence de cyanure on obtient généralement un bleu violet ou un violet.

Il suffit alors d'une quantité minime (quelques gouttes de KCN) pour que l'on passe instantanément au bleu franc sans aucune addition supplémentaire de versénate.

Le cyanure de potassium aurait donc en quelque sorte un rôle de « catalyseur » de la nuance ou de modificateur de teinte.

Par ailleurs, il ne peut pas être remplacé par le sulfocyanure, ni par l'acide tartrique.

RÉSULTATS

Les dosages suivants ont été effectués :

A) **Dosages de solutions pures** (Tableau I)

1 : Dosage de solution de calcium à 1,001 g/l CO_3Ca par EDTA 0,02 n
2 : Dosage de solution de magnésium à 1,233 g/l $SO_4Mg\ 7H_2O$ *-id-*
3 : Dosage de magnésium à 0,246 g/l $SO_4Mg\ 7H_2O$ par EDTA 0,002 n

TABLEAU I

Dosage des solutions de : calcium 0,02 *n*
magnésium 0,01 *n ; magnésium* 0,002 *n*

Dosage Ca		Dosage Mg					
Vol. Ca 0,02 n utilisé dans le dosage	Vol. EDTA 0,02 n	Vol. Mg 0,01 n utilisé dans le dosage	Vol. EDTA 0,02 n		Vol. Mg 0,002 n utilisé dans le dosage		Moyenne
			à froid	chauffé à tiède		Vol. EDTA 0,002 n	
1 cc soit 0,4 mg Ca	1,05 1,08 1,08 1,05	1 cc soit 0,1216 mg Mg	0,7 0,65 0,6 0,8 0,6	0,55 0,53 0,50 0,55	1 cc soit 0,0243 mg Mg	1,15 1,2 1,25	1,2
2 cc soit 0,8 mg Ca	2,08 2,05 2,05 2,03	2 cc soit 0,2432 mg Mg	1,15 1,3 1,25 1,18	1,05 1,05 1,05	2 cc soit 0,0486 mg Mg	2,4 2,5 2,3 2,3 2,3 2,3	2,35
5 cc soit 2 mg Ca	5,08 5,05 5,08 5,1 5,05	5 cc soit 0,6080 mg Mg	2,8 3,1 3,1 3,1 3,2 2,7 2,7 2,7 2,75 2,65 2,7 2,65	2,55 2,6 2,55 2,6 2,6 2,6	5 cc soit 0,1215 mg Mg	5,25 5,2 5,4 5,4	5,31
5 + 5 cc soit 2 + 2 mg Ca	10,1 10,1 10,1						
10 cc soit 4 mg Ca	10,1 10,13	10 cc soit 1 216 mg Mg	5,1 5,2 5,15 5,15	5,25 5,1 5,15	10 cc soit 0,243 mg Mg	10,85 10,5 10,4 10,4 10,3 10,25 10,55 10,45	10,46

B) **Dosages de solutions mixtes** (Tableau II)

Dosage de solution de calcium à 1,001 g/l CO_3Ca additionnée de quantités variables de solution de Magnésium à 0,246 g/l de $SO_4Mg\,7H_2O$

par EDTA 0,02 n + 0,002 n pour le calcium
par EDTA 0,002 n pour le magnésium.

TABLEAU II

Dosage de solutions mixtes calcium + magnésium.

Vol. solution Ca 0,02 *n* utilisé dans le dosage	Vol. EDTA pour Ca		Vol. Mg 0,002 *n* ajouté à la solution précédente de Ca	Vol. $\frac{\text{EDTA}}{10} = 0{,}002\,n$ employé pour Mg après dosage Ca
	EDTA 0,02 *n*	$\frac{\text{EDTA}}{10} = 0{,}002\,n$		
1 cc soit 0,4 mg Ca	1,05			
	1,05			
	1,05		1 cc soit 0,0243 mg Mg	0,55
	1,05			0,4
	1,05			0,65
	1,05		2 cc soit 0,0486 mg Mg	1,6 à 1,7
		10,5		1,8 à 1,9
		10,5		1,95
		10,5		1,75
5 cc soit 2 mg Ca	5,1			
	5	0,75	1 cc soit 0,0243 mg Mg	
	5	0,8		0,6
	5	0,8		0,7
	5	0,8		0,65
	5	0,8	2 cc soit 0,0486 mg Mg	1,7
	5	0,8		1,6
	5	0,8		1,75
	5	0,8	5 cc soit 0,1215 mg Mg	5,55 (?)
	5	0,8		4,8
	5	0,8		4,75
	5	0,8		4,7
	5	0,8	10 cc soit 0,243 mg Mg	9,85
	5	0,8		9,85
10 cc soit 4 mg Ca	10	0,7	1 cc soit 0,0243 mg Mg	0,8
	10	0,7		0,7
	10	0,7		0,9
	10	0,7	2 cc soit 0,0486 mg Mg	1,9
	10	0,7		1,8
	10	0,7		2,0
	10	0,7	5 cc soit 0,1215 mg Mg	5,1
	10	0,7		4,8
	10	0,7		5,0
	10	0,7	10 cc soit 0,243 mg Mg	10,4

C) **Dosages sur extraits de sols** (Tableau III)

1° Dosage de Ca et Mg par la technique décrite.

2° Dosage de ces mêmes extraits auxquels ont été ajoutées des quantités variables de solutions de magnésium à 0,246 g/1 de $SO_4Mg\,7H_2O$.

TABLEAU III

Dosages de contrôle sur extraits de sol.

Dosage sur extrait de sol			Addition de Magnésium à l'extrait de sol				
N°	Vol. EDTA pour dosage :		cc $SO_4Mg\,7H_2O$ à 0,2546 g/l	Vol. EDTA (0,002 *n*)			Intensité de couleur du Bleu
	Ca 0,02 *n* + 0,002 *n*	Mg 0,002 *n*		p. Mg initial + ajouté	p. Mg ajouté	Moyenne	
5 002	11 + 3,5	2,8	1 cc	4,0	1,2		Clair
			soit	3,8	1,0		Foncé
			0,0243 mg Mg	4,0	1,2	1,13	Clair
5 005	7 + 7,6	4,1	1 cc	5,7	1,6		Foncé
			1 cc	5,4	1,3		Foncé
			1 cc	5,6	1,5		Clair
			1 cc	5,45	1,35	1,43	Foncé
5 006	5 + 7,0	5,3	2 cc	7,3	2,0		Foncé
			soit	7,6	2,3		Clair
			0,0486	7,4	2,1		
			mg Mg	7,6	2,3	2,2	Clair
5 008	5 + 5,4	4,8	2 cc	6,7	1,9		Moyen
			2 cc	6,7	1,9	1,9	Foncé
			5 cc soit	10,2	5,4		Moyen
			0,1215 mg Mg	10,2	5,4	5,4	
5 009	8 + 0,9	6,9	5 cc	11,6	4,7		Clair
			5 cc	11,8	4,9		Moyen
			5 cc	11,7	4,8	4,8	Moyen
			5 + 5 cc	17,1			Très clair
5 010	9 + 4,2	6,7/6,8	2 cc	8,9	2,15		
			2 cc	8,7	1,95	2,05	
			10 cc	16,8/16,9	10,1	10,1	
5 016	6 + 9,05	3,5	2 cc	5,6	2,1		
			2 cc	5,55	2,05	2,07	
			10 cc	13,7	10,2	10,2	
5 021	10 + 3,9	4,9	5 cc	9,9 à 10,0	5,0 à 5,1		
5 024	6,5 + 3,3	5,6	10 cc	15,85	10,25		
			soit	16,1	10,5		
			0,243 mg Mg	15,9	10,3	10,35	

TABLEAU IV

Nombre moyen de cc de EDTA dilué pour 1. 2. 5. 10 *cc de magnésium* 0,002 *n.*

	1	2	5	10
Pour une solution témoin de Magnésium	1,2	2,35	5,31	10,46
Pour une solution témoin de Magnésium ajoutée à des extraits de sol	1,3	2,02	5,1	10,31

ESSAIS D'AUTRES INDICATEURS

Nous avons essayé les indicateurs signalés par d'autres auteurs, à savoir :

— le Calcon (37) ;

— le 2 hydroxy-1-(2 hydroxy-4-sulfo-1-naphtylazo)-3naphtoïc acid (40) ;

— la Calcein (35).

Le Calcon (ou CI 202).

Cet indicateur sert dans le dosage du calcium à la place de la murexide. La technique suivante a été utilisée : La prise d'essai est d'abord neutralisée par KOH si nécessaire puis on ajoute :

— 5 cc de diéthylamine à 33 p. 100 (l'article de HILDEBRAND et REILLEY ne spécifiant pas s'il s'agit de diéthylamine anhydre ou en solution aqueuse à 33 p. 100 (catalogue Prolabo) nous avons préparé et utilisé la solution aqueuse qui paraît fort bien convenir).

Conserver en flacon brun ;

— le Calcon en solution dans l'alcool méthylique (0,2 g dans 50 cc ; solution stable au moins 5 mois (37)).

TABLEAU V

Dosage du calcium en présence de calcon et diéthylamine.

Volume de solution de Calcium à 1,001 g CO_3Ca/l utilisé	Nombre de gouttes d'indicateur		Vol. EDTA 0,02n
1 cc	4		0,95
Ca = 0,4 mg			1,0
			0,95
			9,2 (EDTA 0,002 n)
2 cc	6		1,95
Ca = 0,8 mg	10		1,96
			1 + 9,6 / 9,7 EDTA 0,002 n
			1 + 9,8
5 cc	4	virage non précis, dépassé à 5,4	
Ca = 2 mg	8		4,95
10 cc	10		10,0
Ca = 4 mg	4	arrivé à 12,5 sans virage; l'addition de 4 gouttes de Calcon donne virage	
	4	arrivé à 10,05 sans virage; l'addition de 3 gouttes de Calcon donne virage	

Les résultats reproduits dans le tableau V permettent de formuler les conclusions suivantes :

— la prise d'essai ne doit pas être diluée. On peut dépasser largement le volume de versénate nécessaire au dosage sans obtenir de virage de l'indicateur.

— le nombre de gouttes d'indicateur employées doit augmenter avec la prise d'essai. Il semble que :

4 gouttes d'indicateur quand la prise d'essai est de 1 cc
6 gouttes d'indicateur quand la prise d'essai est de 2 cc
8 gouttes d'indicateur quand la prise d'essai est de 5 cc
10 gouttes d'indicateur quand la prise d'essai est de 10 cc

soient des quantités à recommander.

— le virage de l'indicateur semble plus franc que celui de la murexide.

Le 2 Hydroxy-1-(2 hydroxy-4 sulfo-1-naphtylazo)-3 naphtoïc acid.

PATTON et REEDER (40) ont mis cette méthode au point dans le but d'éviter la séparation du calcium d'avec le magnésium (24 à 27) et d'obtenir un virage décelable visuellement sans appareillage photoélectrique.

La méthode entraîne l'emploi de plusieurs réactifs :

— solution de $MgCl_2$ étalon destinée à la fabrication du tampon ;

— tampon complexe : acide chlorhydrique, monoéthanolamine, solution de $MgCl_2$, solution de versénate ;

— cyanure de potasse ;

— chlorhydrate d'hydroxylamine ;

— potasse ;

— indicateur en solution solide dans le sulfate de soude ;

— noir ériochrome T. (ou F241)

Dosage de calcium plus magnésium.

A la prise d'essai, après dilution à 50 cc, ajouter le tampon, le cyanure de potasse, le chlorhydrate d'hydroxylamine, le noir ériochrome, et titrer au versénate.

Dosage du calcium.

Procéder de la même manière en remplaçant le tampon à la monoéthanolamine par une solution de potasse et le F241 par l'indicateur à l'acide naphtoïque.

Résultats.

Pour comparer cette méthode à la technique courante (murexide et noir ériochrome T) une solution mixte a été établie comme suit :

100 cc de solution à 2,5 g/l de CO_3Ca (+ q.s., d'HCl pour dissoudre
+ 50 cc de solution à 1,233 g/l de $SO_4\,Mg\,7H_2O$ et dilution à 250 cc.

La technique décrite précédemment (v. p. 482) a été utilisée ; les résultats obtenus sont consignés dans le tableau VI. Dans chaque cas 10 cc de solution mixte sont employés. Après le premier dosage d'essai 9 cc de versénate sont ajoutés à la burette.

Dosage du calcium.

9 cc de versénate 0,02 *n* puis terminer par le versénate « dilué » (0,002 n).

Dosage du magnésium.

(9 cc de versénate 0,02 *n* + volume moyen de versénate dilué pour le calcium) puis versénate dilué pour le magnésium.

Les résultats des titrages, l'étendue du virage de la teinte de l'indicateur permettent d'indiquer que le dosage du calcium par l'acide naphtoïque substitué et les deux solutions de versénate ne présentent pas d'avantages sur la technique classique à la murexide.

TABLEAU VI

Dosage du calcium et du magnésium en présence d'acide naphtoïque substitué.

Volume EDTA 0,02 *n*	Volume EDTA « dilué » 0,002 *n*	Début de virage dans le 2e dosage (EDTA « dilué »)	Volume EDTA « dilué » 2e dosage	Volume EDTA + EDTA « dilué » pour l'élément dosé
	Dosage du Calcium par la Murexide			Ca
9,95			0	9,95
9		8,7	9,9	9,99
9		8,9	9,9	9,99
9		8,6	10,0	10,0
	Dosage du Magnésium par F. 241 et tampon NH_4-NH_4Cl			Mg
9	9,9	8,0	10,5	10,5
9	9,9	7,6	10,7	10,7
9	9,9		10,5	10,5
	Dosage du Calcium par l'acide naphtoïque substitué			Ca
9			13,7	10,37
9		8,4	14,2	10,42
9			14,7	10,47
9			12	10,20
9		8,0	12,6	
9	Liquide chauffé légèrement		13,3 à 13,8	
	Dosage du Magnésium par F. 241 et monoéthanolamine			Mg
9	9,9	8,7	10,7	10,7
9		9,2	10,7	10,7
9		8,6	10,9	10,9
9		8,8	10,6	10,6
9			10,8	10,8

Par contre le remplacement du tampon ammoniaque-chlorure d'ammonium par le tampon à la monoéthanolamine chlorhydrique fournit des résultats de même ordre (avec tendance à être un peu supérieurs) que ceux obtenus avec la technique classique.

Le virage légèrement plus rapide et l'absence d'ammoniaque dans l'atmosphère amèneraient à préférer son emploi.

La Calceine.

DIEHL et ELLINGBOE (35) utilisent cet indicateur pour le dosage du calcium, quand la solution renferme de grandes quantités (20 à 30 fois Ca) de magnésium. De plus, d'après ces auteurs, la présence de 2 à 3 g de NaCl ou d'anion Cl, NO^3, SO^4, CH^3-COO, ne gênent pas le titrage.

La calceine a donc été essayée, en vue de doser le calcium dans un extrait de sol à l'Acétate de soude.

Les conclusions suivantes se dégagent de ces essais :

— En présence de 30 cc d'Acétate de soude normal (quantité de l'ordre de celle mise en jeu dans un dosage), le virage de la murexide n'est pas tout à fait identique à celui obtenu sans acétate de soude.

La teinte finale est un violet rose.

— Dans des solutions chlorydriques témoins de calcium, le virage de la calceine présente une fluorescence résiduelle, qui cause une certaine incertitude dans le dosage, du fait que la couleur passe du vert à l'orangé brun.

— En présence de 30 cc d'Acétate de soude normal, le volume de versénate nécessaire au dosage, tend à être surestimé.

CONCLUSION

La technique relativement simple mise au point permet d'augmenter la précision du dosage du magnésium quand celui-ci est en proportions minimes par rapport au calcium. Elle évite, pour les laboratoires qui en sont démunis, l'emploi d'appareillages électriques délicats et coûteux. Mais il reste évident qu'un colorimètre permettant de travailler en cuve à des longueurs d'onde nettement délimitées amènerait encore une meilleure appréciation de la fin du dosage (1). Un inconvénient de la méthode est de nécessiter un double dosage du calcium, ce qui augmente le temps passé par échantillon.

La comparaison des indicateurs a donné les résultats suivants :

La murexide et le noir ériochrome T restent de très bons indicateurs.

Le calcon, en présence de diéthylamine comme tampon, semble un peu supérieur à la murexide pour le dosage du calcium.

La technique employant le noir ériochrome T avec le tampon monoéthanolamine chlorhydrique est équivalente à la technique classique. Quoique les réactifs nécessaires soient plus nombreux, ce mode opératoire présente deux avantages : absence d'ammoniaque, virage plus rapide. Mais il faut étalonner soigneusement les solutions de Versénate, en présence de l'indicateur et du tampon, avec les solutions de référence de calcium et de magnésium. La calcéine, dans les conditions précisées d'utilisation, ne paraît pas être un meilleur indicateur.

(1) Un essai a été tenté en effectuant le dosage dans un ballon de 50 et en colorimétrant, après chaque addition de versénate, le liquide dans la douille du ballon bouché et retourné (colorimètre Lumétron pour tubes à essais).

SUMMARY

The determination of minute quantities of magnesium in presence of large amounts of calcium.

The relatively simple technique developed increases the precision of determination of magnesium when this element is present in very small amounts in relation to calcium. To the benefit of less well equipped laboratories, the method dispenses with delicate and expensive electrical apparatus, but a colorimeter operating at clearly defined wave lengths would further add to the precision of determining the end point of the reaction. An inconvenience of the technique is the need for two calcium determinations, increasing the time required for each sample.

A comparison of indicators showed the following results :

Murexide and erichrome black T are very good indicators.

Calcon, in presence of diethylamine as buffer, is slightly superior to murexide for the determination of calcium.

A technique utilizing erichrome black T in presence of hydrochloric monoethanolamine as buffer is equivalent to the classic method and has two advantages : absence of ammonia and more rapid turning of colour. It is necessary to calibrate carefully the versenate solutions in presence of this indicator and buffer with standard solutions of Ca and Mg.

Определение весьма малых количесть магния в присутствии значительных количеств кальция.

Ж. ЛЕФЭВР.

Амьенская Агрономическая Станция.

РЕЗЮМЭ

Усовершенствованная сравнительно простая техника позволяет увеличить точность определения магния, когда он находится в отношениях крайне слабых к кальцию. Она позволяет лабораториям обходиться без сложных и дорогих электрических приборов. Но само собой явствует, что колориметр, позволяющий работать в сосуде при длинах волны точно ограниченных позволило бы еще лучшее схватывание конца определения. Слабая сторона метода — это необходимость двукратного определения кальция, что увеличивает расход времени, затраченного на анализ.

Сравнение индикаторов дало следующие результаты :

Мюрексид и черный эриохром Т остаются очень хорошими индикаторами.

Калькон, в присутствии диэтиламина как буфера, кажется несколько лучшим, чем мюрексид, для определения кальция.

Техника, употребляющая черный эриохром Т с буфером моно-этаноламин хлорнокислый, равноценна классической технике. Она представляет два преимущества : отсутствие аммониака и более быстрый вираж, но зато требуется больше реактивов. В этом случае необходимо тщательно эталонировать растворы версената, в присутствии этого индикатора и буфера, посредством растворов Ca и Mg, употребляемых для сравнения.

ZUSAMMENFASSUNG

Bestimmung von geringen Magnesiummengen bei Vorhandensein grosser Calziummengen.

Das verhältnissmässig einfache ausgearbeitete Verfahren macht es möglich die Genauigkeit der Magnesiumbestimmung zu erhöhen und zwar wenn Magnesium in einem geringen Verhältniss zu Calzium steht. Es erspart die Anwendung elektrischer Vorrichtungen die wenig widerstandsfähig und kostspielig sind. Jedoch würde ein mit Küvetten bei bestimmten Längenwellen arbeitendes Kolorimeter eine noch bessere Schätzung des Endes der Titrierung geben. Die Notwendigkeit eine doppelte Calziumbestimmung durchzuführen stellt ein Nachteil dieses Verfahrens dar, da es zeitraubend ist.

Ein Vergleich der Indikatoren gab folgende Ergebnisse :

Das Murexid und das Eriochromschwartz T bleiben sehr gute Indikatoren. Das Calzon, bei Vorhandensein von Diäthylamin als Puffer, scheint dem Murexid ein wenig überlegen bei der Calziumbestimmung zu sein. Das Verfahren, mit dem Eriochromschwartz T und dem salzsauren Monoäthanolamin als Puffer, ist dem gewöhnlichen Verfahren gleichwertig. Es hat zwei Vorteile : Abwesenheit von Ammoniak, rascherer Farbumschlag aber die Reagenzien sind zahlreicher. Man muss dann sorgfältig die EDTAlösungen bei Vorhandensein dieses Indikators und der Pufferlösung mit bekannten Ca-und Mg-Lösungen eichen.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Étude théorique

(1) MARTELL (A. E.) et CHABERCK (S.). — Use of Chelating agents as reagents in titrimetric analysis. *Analytic Chem.* v. 26, nº 11, p. 1692-1696, 1954.

(2) ALLEN YOUNG et SWEET (T.). — Complexes of Eriochrome Black T with Calcium and Magnesium. *Analytic. Chem.*, v. 26, nº 3, p. 418-420, 1955.

(3) BENNIE ZAK et al. — Spectrophotometric titration of spinal fluid Calcium and Magnesium. *Analytic. Chem.*, v. 28, nº 11, p. 1661-1665, 1956.

Indications générales.

(*4) BOND et TUCKER. — Titrage du calcium en présence de magnésium au moyen de l'éthylène diamine tétracétate, in *Chimie Analytique* (documentation), v. 37, nº 6, p. 215, 1955.

(5) CHENG (K. L.) et BRAY (R.). — Determination of calcium and magnesium in soil and plant material. *Soil. Sc.*, v. 72, p. 449, 1951.

(*6) Anonyme. — Méthode proposée pour le dosage des oxydes de calcium et magnésium dans la chaux, in *Chimie Analytique* (documentation), v. 39, nº 12, p. 467, 1957.

(*7) FLASCHKA (H.) et SADEK. — Microdosages à l'aide d'acide éthylène diamino-tétracétique XVI. Dosages de métaux dans la gamme ultramicro, in *Chimie Analytique* (documentation), v. 40, nº 4, p. 132, 1958.

(*8) LHEUREUX et al. — Titrage photocolorimétrique des ions calcium et magnésium par complexométrie, in *Chimie Analytique* (documentation), v. 39, nº 5, p. 202, 1957.

(9) MAZOYER. — Possibilités d'emploi du versénate pour le dosage du calcium et du magnésium échangeables dans les extraits de sol. *Ann. Agro.*, nº 6, p. 1009, 1954.

(10) METSON. — Methods of Chemical Analysis for soil survey samples. New Zealand Dept. of scientific and industrial research. Wellington (NZ).
(*11) VAN DER SPEK (J.) et TEN HAVE (J.). — Détermination complexométrique de la teneur d'un sol en Ca et Mg solubles, in *Chimie Analytique* (documentation), v. 39, nº 12, p. 474, 1957.
(12) ANAKLEPTON. — Dosages titrimétriques à l'aide d'Anaklepton. Brochure éditée par les Fabriques de produits chimiques Billaut (46 réf.).

Procédés de purification de l'E D T A.

(13) BLAEDEL (W. J.) et KNIGHT (T. H.). — Purification and properties of disodium salt of etylenediamine tetraacetic acid as a primary standard. *Analytic. Chem.*, v. 26, nº 4, p. 741, 1954.

Procédés de séparation.

a) *Ions gênants.*

(*14) CAMPEN et NIJST. — L'élimination rapide de Fe, Al, Ti, Mn, P de solutions dans lesquelles on veut doser le calcium et le magnésium, in *Chimie Analytique*, v. 37, nº 11, p. 387, 1955.
(15) CHENG et al. — Removing interfering metals in the versenate determination of calcium and magnesium. *Soil Sc.*, v. 75, p. 37, 1953.
(*16) DOERING. — Dosage titrimétrique du calcium et du magnésium en présence de traces de cuivre à l'aide du complexon, in *Chimie Analytique*, v. 37, nº 12, p. 422, 1955.
(17) FRITZ et al. — Complexometric titrations following cupferron separation of interferences. *Analytic. Chem.*, v. 29, p. 577, 1957.
(18) GRISWOLD et PACE. — Microdetermination of calcium and magnesium in Tissue Ashes. *Analytic. Chem.*, v. 28, p. 1035, 1956.
(*19) PRIBIL. — Titrages complexométriques. II Complexion de Al, Fe, Mn et III Complexion de Al, Mg, Ca par le fluorure d'ammonium, in *Chimie Analytique*, v. 37, nº 2, p. 60, 1955.
(*20) PRIBIL. — Le « masquage » de l'aluminium et du fer dans les titrages en présence de noir Eriochrome T comme indicateur, in *Chimie Analytique*, v. 37, nº 10, p. 348, 1955.
(*21) RIO et TODARO. — Dosage complexométrique du calcium en présence de strontium, in *Chimie Analytique*, v. 37, nº 2, p. 60, 1955.
(22) SHILZ et KRYNAUW. — Determination of Calcium and Magnesium in Food stuffs, *Analytic. Chem.*, v. 28, nº 11, p. 1759, 1956.
(*23) VIDO et PIGNATTI. — L'uso dei complessoni per il dosaggio del calcio e del magnesio nel suolo, in *Soils and Fertilizers*, v. 18, nº 6, p. 487, 1955.

b) *Séparation du calcium d'avec le magnésium.*

(24) BOWER. — Determination of exchangeable Magnesium in soils containing dolomite. *Soil Sc. Soc. of Am. Proc.*, v. 19, p. 40, 1955.
(25) CAMPBELL et KENNER. — Separation of Magnesium from Calcium by Ion exchange chromatography. *Analytic. Chem.*, v. 26, nº 3, p. 560, 1954.
(26) GEHRKE et al. — Direct Ethylene diamine tetracetate titration methods for Magnesium and Calcium. *Analytic. Chem.*, v. 26, nº 12, p. 1944, 1954.
(*27) GHOSH et ROY. — Méthode modifiée à l'éthylène diamine tétraacétate pour le dosage direct du magnésium, in *Chimie Analytique*, v. 39, nº 1, p. 28, 1957.

Interférences possibles ou non interférences.

(*28) FLASCHKA. — Emploi pour extractions analytiques du noir ériochrome T non sulfoné, in *Chimie Analytique*, v. 39, nº 2, p. 70, 1957.
(29) KENNY et TOVERUD. — Non interference of Phosphate in an Ethylenediamine tetraacetate method for serum Calcium. *Analytic. Chem.*, v. 26, nº 6, p. 1059, 1954.

Colorimétrie directe.

(30) MANN et YOE. — Spectrophotometric Determination of Magnesium with Sodium 1-Azo-2-Hydroxy-3-(2,4-Dimethylcarbo-xanilido)-naphtalene-1-(2-hydroxy-benzene-5-sulfonate). *Chimie Analytique* p. 470, 1957
(31) OSTERTAG et RINCK. — Dosage colorimétrique du Calcium à l'aide de la Murexide. *Chimie Analytique*, nº 5, mai, 1952.
(32) WILLIAM et MOSER. — Colorimetric determination of Calcium with ammonium purpurate. *Analytic. Chem.*, v. 25, nº 9, p. 1953.
(33) YOUNG et al. — Simultaneous Spectrophotometric determination of Calcium and Magnesium. *Analytic. Chem.*, v. 27, nº 3, p. 356, 1955.

Nouveaux indicateurs.

(34) BELCHER (R.). — Sur de nouveaux indicateurs et observations sur des indicateurs bien connus. *Chimie Analytique*, v. 40, nº 2, p. 35, 1958.
(35) DIEHL (H.) et ELLINGBOE (H.). — Indicator for titration of calcium in presence of Magnesium using disodium dihydrogen ethylene-diamine tetraacetate. *Analytic. Chem.*, v. 28, nº 5, p. 882, 1956.
(*36) FLASCHKA et ABDINE. — Microtitrage avec l'acide éthylènediaminetétracétique XV, in *Chimie Analytique*, v. 39, nº 3, p. 109, 1957.
(37) HILDEBRAND (G.) et REILEY (Ch.). — New indicator for complexometric titration of calcium in presence of magnesium. *Analytic. Chem.*, v. 29, nº 2, p. 258, 1957.
(*38) KINNUNEN et MERIKANTO. — Titrage EDTA avec emploi de Zincon comme indicateur, in *Chimie Analytique*, v. 38, nº 3, p. 99, 1956.
(39) MAZOYER (R.). — Nouvel indicateur pour le dosage du calcium et du magnesium dans les extraits de sols et de plantes (Travaux des Stations Agronomiques en 1955). *Ann. Agro.*, p. 860, 1956.
(40) PATTON (J.) et REEDER (W.). — New indicator for titration of calcium with (Ethylene-dinitrilo) tetraacetate. *Analytic. Chem.*, v. 28, nº 6, p. 1026, 1956.
(*41) TUCKER. — Phtalein complexone as an indicator for calcium and magnesium in the titration of soils extracts, *in Soils and Fertilizers*, v. 19, nº 1, p. 30, 1956.

Emploi d'appareillage électrique pour le titrage.

(42) ACONSKY (L.) et MORI (M.). — Spectrophotometric technique for Calcium. *Analytic. Chem.*, v. 27, nº 6, p. 1001, 1955.
(43) BLAEDEL (W.) et KNIGHT (H.). — Stoichiometry of titration of Metal Ions with Disodium salt Ethylenediaminetetraacetate acid. *Analytic. Chem.*, v. 26, nº 4, p. 743, 1954.
(44) HALL (J.) et al. — Conductometric standardization of solutions of common divalent metallic ions. *Analytic. Chem.*, v. 26, nº 9, p. 1484, 1954.
(*45) KARSTEN et al. — Titrage spectrophotométrique du calcium et du magnesium avec le complexon III et indicateurs spécifiques de métaux, in *Chimie Analytique*, v. 37, nº 11, p. 387, 1955.

(46) LAITINEN (H. A.) et SYMPSON (R. F.). — Amperometric titration of calcium with the disodium salt of Ethylenediaminetetraacetic acid, *Analytic. Chem.*, v. 26, nº 3, p. 556, 1954.

(47) NICKELLY (J.) et COOKE (D.). — Amperometric titrations of micromolar solutions. *Analytic. Chem.*, v. 28, nº 2, p. 243, 1956.

(48) REILEY (Ch.) et al. — Coulometric titrations with electrically released Ethylenediamine tetraacetic acid. *Analytic. Chem.*, v. 28, nº 4, p. 443, 1956.

(49) SCHMID (R. W.) et REILEY (Ch.). — New complexon for titration of calcium in the presence of magnesium. *Analytic. Chem.*, v. 29, nº 2, p. 264, 1957.

Autre procédé utilisant EDTA

(50) BRICKER et PARKER. — Precipitation of Magnesium with Ethylene (dinitrilo) tetraacetic acid. *Analytic. Chem.*, v. 29, nº 10, p. 1470, 1957.

Comparaisons de méthodes.

(51) SHAM. — Report on methods of determination of exchangeable magnesium in soils. *Soil Sc. Soc. of Am. Proc.*, v. 21, p. 157, 1957.

(*) Les articles marqués d'un astérisque ont été consultés dans des extraits de la partie Documentation de Chimie Analytique et dans les Abstracts de Soils and Fertilizers.

ACTIONS DIRECTES ET INDIRECTES DE LA MATIÈRE ORGANIQUE HUMIFIÉE SUR LA NUTRITION DES VÉGÉTAUX VASCULAIRES

(Revue bibliographique)

PAR

R. BLANCHET

Station centrale d'Agronomie. Versailles

PLAN DU MÉMOIRE

I. — **Aperçu historique.**

II. — **Formation et composition de l'humus.**

L'humification.
L'acide humique.
Les constituants secondaires de l'humus.

III. — **Mise en évidence de l'influence stimulante de l'humus sur la nutrition et la croissance de plantes cultivées dans les solutions nutritives.**

Principe de ces essais.
Résultats.
Conclusions.

IV. — **Influence directe de l'humus sur l'absorption des éléments minéraux.**

Méthodes expérimentales.
Influence de l'humus sur l'adsorption radiculaire des ions minéraux.
Influence de l'humus sur l'absorption proprement dite des éléments minéraux et sur la « perméabilité » du cytoplasme.
Conclusions.

V. — **Influence de l'humus sur divers mécanismes intervenant dans la nutrition minérale.**

Formation et croissance des racines (conditions de cette influence).
Divers processus métaboliques (glucides, azote, phosphore, phénomènes respiratoires).

VI. — **Hypothèses relatives au mode d'action de l'humus.**
Activité physiologique des substances modèles quinoniques.
Intervention de l'humus comme agent complexant des ions minéraux.
Les facteurs de croissance de l'humus.
Importance de l'humification et rôle des microorganismes.
Conclusions.

VII. — **Humus et capacité de production des sols.**
Rôles multiples de l'humus dans la fertilité.
L'humus augmente la capacité de production des sols.
Conclusions.

VIII. — **Humus et fertilisation.**
Les théories « biodynamiques ».
Nécessité de la restitution des éléments minéraux prélevés par les cultures.
La doctrine agronomique : les fumures organo-minérales.
Conclusions.

IX. — **Conclusions générales.**

Le rôle favorable de l'humus dans la fertilité des sols a été soupçonné depuis fort longtemps, puisque les Romains, dit-on, estimaient la valeur des terres d'après leur coloration plus ou moins brune (1). Depuis plus d'un siècle, ce rôle a cependant été l'objet de vives controverses. Le débat a même été porté durant ces dernières années devant le grand public, et la confusion n'a fait que s'accroître.

A vrai dire, ce problème très complexe est loin d'être complètement résolu. Un certain nombre de faits précis ont toutefois été bien établis, et l'on peut se faire maintenant une idée au moins approximative de l'intervention de la matière organique dans la nutrition des plantes. Les mécanismes ne sont pas tous élucidés, mais quelques grandes lignes se dégagent nettement.

I. — APERÇU HISTORIQUE (1)

Jusqu'au XVIIIe siècle, l'humus était considéré comme la seule source d'éléments à partir de laquelle les plantes puissent s'alimenter. On croyait que les végétaux absorbaient tel quel l'humus des sols. VAN HELMONT s'insurgea sans beaucoup de succès contre cette idée. Puis, les travaux de DE SAUSSURE, BOUSSINGAULT et surtout LIEBIG établirent définitivement, vers 1840, l'erreur de ces conceptions. LIEBIG, en particulier, niait à l'humus toute action directe sur la nutrition des plantes ; il attribuait son influence apparemment favorable à la libération de gaz carbonique, qui pouvait dissoudre des éléments minéraux du sol, et maintenir la réserve de CO_2 atmosphérique. Il ne soupçonna pas le rôle des composés azotés fournis par la décomposition de l'humus.

DE SAUSSURE se montrait plus réservé ; il estima même que des plantes peuvent absorber une solution d'humate de potassium. L'humus lui semblait favorable, mais non indispensable.

Le fumier paraissait cependant un excellent engrais, et les arguments des physiologistes ne ralliaient pas l'unanimité des suffrages. GRANDEAU, en 1872, estimait que l'humus retient les éléments fertilisants, et permet à la plante de les absorber (2). La découverte des processus microbiens qui règnent dans le sol donna au problème de l'humus un nouvel essor. Les travaux de KOTTE, SCHLOESING et MÜNTZ, notamment, montrèrent que la décomposition de l'humus libère des nitrates, des sulfates, des phosphates, de l'ammoniac, etc. qui sont utilisables par les plantes. VINOGRADSKI, WAKSMAN et beaucoup d'autres chercheurs poursuivirent ensuite ces études.

Depuis 1920, environ, le problème de l'humus a été également abordé par les physico-chimistes du sol, qui ont mis en évidence ses propriétés d'échange d'ions, ainsi que son rôle dans la structure du sol, la rétention de l'eau et la mobilisation des phosphates (3). Des recherches dans ces divers domaines se poursuivent dans la plupart des pays.

Enfin, la période tout à fait récente a vu se développer des travaux d'ordre plus physiologique, mettant en évidence des actions de l'humus sur l'absorption proprement dite des éléments minéraux, abstraction faite des phénomènes du sol. Trois grandes écoles ont abordé ce sujet :

— une école russe (CHRISTEWA, KONONOWA),
— une école allemande (FLAIG, SAALBACH),
— une école française (CHAMINADE).

Nous nous attacherons surtout dans ce travail aux résultats obtenus dans ce dernier domaine. Il faut toutefois envisager d'abord de plus près la nature de l'humus.

II. — FORMATION ET COMPOSITION DE L'HUMUS

1° L'humification.

Les sols renferment habituellement un grand nombre de microorganismes divers (ordre de grandeur : 10 à 100 millions de germes par gramme de sol, 4,5). Lorsque des matières organiques sont incorporées au sol, elles sont rapidement attaquées par ces microorganismes. Selon leurs aptitudes, les diverses espèces microbiennes décomposent, à des vitesses variables, les différents constituants végétaux. Certains de ces constituants sont particulièrement résistants à la décomposition microbienne ; ce sont surtout la lignine, les hémicelluloses, la cellulose, les protéines, certaines graisses et cires. Ces corps tendent ainsi à s'accumuler dans le sol.

D'autre part, les « cadavres » des microorganismes morts se désagrègent peu à peu, libérant leurs propres substances. On trouve donc à un instant donné, dans un sol qui supporte habituellement une végétation, une foule de composés organiques :

— des résidus végétaux plus ou moins attaqués ;

— des corps résistant à la décomposition microbienne (lignine, protéines, dérivés cellulosiques, etc.) ;

— des constituants microbiens, provenant de germes morts ;

— des produits du métabolisme microbien, notamment des acides organiques.

Les matières organiques incorporées au sol sont donc en partie détruites, et en partie remaniées par les microorganismes. Du point de vue quantitatif, deux groupes de corps sont particulièrement abondants : la lignine et ses dérivés plus ou moins oxydés, et les protéines. D'après WAKSMAN, la composition de la matière organique des sols cultivés est sensiblement la suivante (6):

Substances solubles dans l'éther et l'alcool (graisses, cires).	1 à 5 %
Hémicellulose	7 %
Cellulose	4 %
Lignine et dérivés	40 %
Protéines	35 %

Selon BREMNER (7), on trouverait en outre une proportion importante d'acides uroniques.

2° L'acide humique.

La lignine et les protéines s'associent entre elles, par des liaisons qui seraient comparables aux liaisons peptidiques (8, 9, 10, 11), et forment un complexe qui constitue la majeure partie de ce que l'on appelle « l'acide humique ». L'acide humique est surtout défini par ses propriétés : c'est une substance de couleur brun noir, qui fournit avec les bases et les sels alcalins des solutions limpides. En milieu acide, ou en présence des cations alcalino-terreux, les molécules d'acide humique s'agglomèrent, formant des suspensions troubles (caractères comparables aux savons). Ces molécules sont décelables au microscope électronique (12) ; leur taille est de l'ordre de quelques centaines d'angströms. L'analyse spectroscopique a révélé la présence de chaînes carbonées linéaires et de cycles aromatiques, qui peuvent provenir respectivement des protéines et de la lignine (13). L'acide humique est en somme synthétisé par les microorganismes à partir de composés provenant des débris végétaux.

Leurs diverses propriétés font ranger les acides humiques parmi les substances colloïdales. Ils sont doués d'un pouvoir adsorbant élevé ; on suppose qu'ils adsorbent ainsi de nombreux corps organiques présents

en faibles quantités dans le sol. Ils possèdent un caractère acide, qui leur confère une capacité d'échange de cations (3). Le nom d'« humus » est appliqué ici à ces acides humiques seuls, non à l'ensemble de la matière organique du sol.

Dans le sol, les acides humiques sont énergiquement fixés par l'argile, qui paraît, en quelque sorte, les protéger contre l'action des enzymes protéolytiques (7). Ils sont ainsi relativement résistants aux actions microbiennes. Toutefois, ils sont soumis à une décomposition lente, qui constitue la *minéralisation* de l'humus (14, 15). Cette minéralisation aboutit à la formation de composés minéraux simples : CO_2, NH_3, SO_4, PO_4, éventuellement utilisables par les plantes.

L'acide humique se comporte donc comme une réserve d'éléments minéraux, susceptibles d'être lentement mis à la disposition des plantes. C'est un rôle indirectement *nutritif* de l'acide humique. Il sert d'autre part de support à un grand nombre de corps organiques, qu'il importe de considérer également.

3° Les constituants secondaires de l'humus.

WAKSMAN a donné de cette question une très large revue (1). L'humus étant formé par décomposition et resynthèse microbiennes des matières organiques, on y trouve la plupart des constituants végétaux. Les techniques utilisées pour isoler ces corps étaient souvent assez brutales ; il a pu intervenir des hydrolyses au cours des extractions, et l'on ne peut affirmer qu'ils se trouvaient tous à l'état libre. Citons, parmi les métabolites les plus importants :

— divers glucides : cellulose, pentosanes, acides uroniques, glucosides ;

— des glycérides, différents esters, des lécithines ;

— des protéines, des acides aminés libres, des amines (choline, créatinine) ;

— des acides nucléiques, ainsi que des bases puriques et pyrimidiques (hypoxanthine, cytosine) ;

— des acides organiques (acides oxalique, succinique, benzoïque) ;

— divers stérols ;

— enfin, la plupart des sols paraissent renfermer de l'acide β indol acétique (16, 17), à raison de 10 à 200 µg par kilo de sol. On y rencontre également diverses vitamines (18, 19).

En *résumé*, la partie pondéralement la plus importante de la matière organique humifiée est constituée par un complexe ligno-protéique colloïdal, possédant de fortes capacités d'échange d'ions et d'adsorption. Sa minéralisation libère peu à peu des éléments minéraux nécessaires aux

plantes. Il sert en outre de support à un très grand nombre de corps organiques, parmi lesquels on note d'importants facteurs de croissance.

Nous envisagerons d'abord les faits expérimentaux montrant l'influence stimulante des substances humiques sur la nutrition des plantes en solutions pures, indépendamment de leur libération d'éléments minéraux utiles aux plantes et de l'influence favorable qu'exerce l'humus dans le sol.

III. — MISE EN ÉVIDENCE DE L'INFLUENCE STIMULANTE DE L'HUMUS SUR LA NUTRITION ET LA CROISSANCE DE PLANTES CULTIVÉES DANS DES SOLUTIONS NUTRITIVES

1° Principe de ces essais.

Les recherches effectuées dans ce domaine ont un caractère agronomique ; pour mieux les comprendre, il semble nécessaire de rappeler quelques données générales :

a) En agriculture, les rendements sont très souvent limités par la nutrition minérale insuffisante des plantes. Le but essentiel des recherches de chimie du sol est de définir les conditions d'une alimentation minérale aussi bonne que possible, afin qu'elle ne limite pas les rendements permis par les facteurs physiques du milieu (essentiellement l'eau, la température et la lumière).

b) Si l'on veut mettre en évidence l'effet stimulant de substances telles que l'humus sur la croissance et l'ensemble de la nutrition minérale, il importe que la plante dispose de quantités suffisantes d'éléments minéraux, dans un rapport convenable entre eux. L'éclairement et la température doivent être également suffisants. Il faut que les principaux facteurs de croissance se trouvent au voisinage de l'optimum pour que se manifeste l'influence accélératrice de l'humus sur la nutrition et le métabolisme. Les expérimentateurs insistent beaucoup sur ce point, notamment Flaig (20).

c) Ces préoccupations expliquent le mode habituel de présentation des résultats ; ceux-ci sont généralement exprimés par :

— les poids de matière végétale sèche récoltés (p) ;

— les teneurs de la matière sèche en éléments minéraux (t) ;

— les quantités totales d'éléments absorbés ($t \times p$) ;

L'effet stimulant de l'humus est démontré si l'on observe :

— une augmentation simultanée de p et de t ;

— une augmentation du terme ($t \times p$), même si l'un des deux facteurs n'est pas augmenté.

2° Résultats.

W. FLAIG et E. SAALBACH ont donné plusieurs revues générales des nombreux résultats obtenus par les divers auteurs (20, 21). Empruntons par exemple à E. SAALBACH quelques données numériques (22) :

a) **Influence de l'acide humique sur la croissance** de plants de seigle cultivés en solutions nutritives aérées :

Acide humique mg par litre	Poids sec des parties aériennes	Poids sec des racines
0	1,08 ± 0,04 g	0,38 ± 0,014 g
2,5	1,20 ± 0,00 g	0,44 ± 0,013 g

b) **Les teneurs en élément minéraux** d'autres plants de seigle cultivés dans les mêmes conditions ont été augmentées par l'humus, du moins en ce qui concerne N et P :

Acide humique mg/litre	Teneur en éléments, % de matière sèche				
	N	P	K	Na	Ca
			Parties aériennes		
0	5,05	0,85	6,4	0,37	0,165
2,5	5,25	0,87	6,2	0,36	0,136
			Racines		
0	3,91	0,92	3,9	0,68	0,165
2,5	4,54	0,96	4,1	0,62	0,129

c) **Les quantités totales d'éléments absorbés** par ces plantes ont été dans l'ensemble notablement accrues en présence d'acide humique :

Acide humique mg/litre	Éléments absorbés				
	N	P	K	Na	Ca
			Parties aériennes		
0	53,7	9,2	69	4	1,78
2,5	62,9	10,4	74	4,3	1,63
			Racines		
0	14,9	0,35	14,8	2,6	0,62
2,5	19,9	0,42	18	2,7	0,57
			Ensemble de la plante		
0	68,6	9,55	84	6,6	2,4
2,5	82,8	10,82	92	7	2,2

Des résultats comparables ont été obtenus par les autres expérimentateurs, à l'aide de diverses plantes, en Allemagne, en France, et en U. R. S. S. (20, 21, 23, 24, 25). Les doses d'humus les plus favorables sont tou-

jours très faibles, de l'ordre de 1 à 10 mg d'acide humique par litre. Cette action ne peut donc être attribuée à la fourniture d'éléments minéraux contenus dans l'humus lui-même. Les concentrations des solutions nutritives utilisées sont en effet de l'ordre de :

30 mg/litre N ;
10 mg/litre P ;
20 mg/litre S ;
50 mg/litre K ;
50 mg/litre Ca ;
20 mg/litre Mg.

Les oligo-éléments sont apportés en quantités suffisantes.

D'autre part, les auteurs obsrvent généralement l'existence d'une dose optimum d'humus ; l'effet favorable s'atténue lorsque l'on augmente la concentration en acide humique, et il apparaît même des phénomènes de toxicité (26).

Enfin, signalons qu'une influence très marquée de l'humus sur la croissance de microorganismes, notamment l'Aspergilus niger, a été également mise en évidence (27, 28). Un test de dosage de l'activité physiologique de l'humus en a été tiré (CHAMINADE).

3° Conclusions.

L'acide humique extrait de sols ou de terreaux exerce un effet stimulant marqué sur la nutrition minérale de plantes cultivées dans des solutions nutritives répondant normalement aux besoins des végétaux. Cette amélioration de la nutrition minérale entraîne généralement une accélération de la croissance. L'effet stimulant n'est pas dû à la cession par l'humus d'éléments minéraux constitutifs de ce produit. L'action se manifeste à des concentrations très faibles (10^{-6}), avec un optimum généralement bien marqué.

Par quel mécanisme l'humus intervient-il? L'alimentation minérale des plantes est le résultat de nombreuses réactions élémentaires. Parmi les plus importantes, citons :

— l'adsorption des ions minéraux à la surface des racines et leur transport à travers le cytoplasme, au moyen d'accepteurs (29, 30) ;

— la production de ces accepteurs, à partir de l'ensemble du métabolisme ; celui-ci doit d'autre part fournir l'énergie nécessaire à l'absorption, au moyen des processus respiratoires (31, 32).

En outre, le rythme de l'absorption dépend de l'extension du système radiculaire.

Dans la mesure où elle a été étudiée, examinons maintenant l'influence de l'humus sur ces divers facteurs.

IV. — INFLUENCE DIRECTE DE L'HUMUS SUR L'ABSORPTION DES ÉLÉMENTS MINÉRAUX

1° Méthodes expérimentales.

Il est assez difficile d'isoler rigoureusement l'effet de l'humus sur l'absorption des éléments minéraux, en raison de la complexité du phénomène étudié. Il importe d'éliminer pour cela toute autre action de l'humus, en particulier sur le métabolisme de la plante et l'étendue de son système radiculaire. Aussi, les essais ont porté sur des végétaux déjà développés dans des conditions identiques, ou sur certains de leurs organes. L'humus est ajouté à un instant donné au milieu nutritif, et l'on compare aux témoins les plantes traitées. Les expériences sont de courte durée (quelques heures), afin que le matériel végétal ne puisse pas se modifier notablement pendant la durée des essais.

2° Influence de l'humus sur l'adsorption radiculaire des ions minéraux (33).

Afin d'accentuer les phénomènes, les essais ont porté sur des plantes préalablement carencées en l'ensemble des éléments minéraux. Les jeunes plants de blé étaient ensuite placés dans des solutions nutritives additionnées ou non d'acide humique. On suivait en fonction du temps l'appauvrissement de ces solutions en éléments minéraux.

Au cours des premières heures, la vitesse de la disparition des ions minéraux de la solution est très grande. Des essais effectués sur des plantes identiques montrent que cette première phase correspond surtout à une adsorption des ions minéraux à la surface des racines. La présence de 2 mg par litre d'acide humique accélère considérablement cette adsorption ; l'effet s'atténue ensuite, au cours de l'absorption proprement dite.

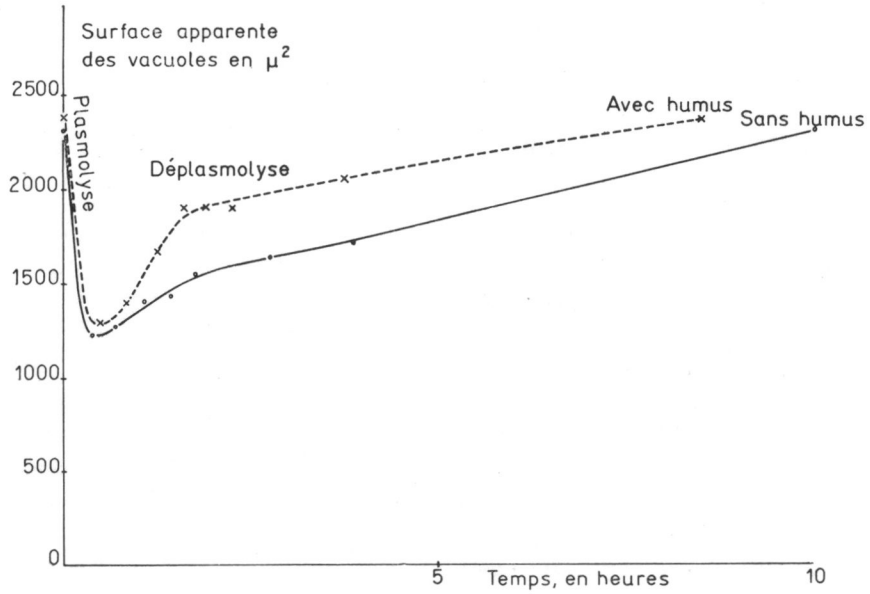
L'acide humique paraît donc se comporter comme un transporteur d'ions, servant d'intermédiaire entre le milieu nutritif et les racines des plantes. On observe encore ici une concentration optimum nette, voisine de 2 mg par litre.

3° Influence de l'humus sur l'absorption proprement dite des éléments minéraux et sur la « perméabilité » du cytoplasme.

Des essais directs ont été effectués par la méthode plasmolytique sur des cellules épidermiques de pétales de *Viola cornuta* (CHAMINADE et BLANCHET, 34). Ces cellules sont plongées à un instant donné dans des solutions minérales, additionnées ou non d'humus, de pression osmo-

tique supérieure à celle des cellules. Celles-ci perdent rapidement de l'eau ; leurs vacuoles se contractent (plasmolyse). Elles absorbent ensuite des ions minéraux, et leur pression osmotique redevient peu à peu supérieure à celle du milieu ; elles peuvent alors réabsorber de l'eau, et leurs vacuoles se regonflent (déplasmolyse). La déplasmolyse se produit bien dans ce cas par absorption d'ions, et non par hydrolyse de réserves internes : si les cellules sont plongées dans une solution de saccharose, elles ne se déplasmolysent pas. La déplasmolyse peut êre suivie au microscope, en mesurant en fonction du temps la surface apparente des vacuoles colorées par l'anthocyane.

Les courbes suivantes (graphique 1) représentent les résultats obtenus dans une solution minérale pure et dans la même solution additionnée



Graphique 1 — Influence de l'acide humique sur la vitesse de déplasmolyse.

de 8 mg par litre d'humate calcique (acide humique neutralisé à pH 7 par des ions Ca^{++}).

Cette petite dose d'humus accélère considérablement la déplasmolyse, c'est-à-dire l'absorption des ions minéraux. La masse de l'acide humique est cependant infime par rapport à celle des éléments minéraux (8 mg par litre contre 56 g par litre). Ici encore, l'humus semble jouer un rôle de transporteur d'ions, et paraît augmenter la perméabilité du cytoplasme aux éléments minéraux.

Des résultats comparables ont été obtenus par A. A. PROSOROWSKAJA (23) : des acides humiques extraits de tourbes accélèrent l'exosmose de

l'eau en présence d'une solution concentrée de glucose, et ensuite l'absorption de nitrate d'ammonium. L'auteur attribue cette action à une augmentation de la perméabilité cellulaire.

4° Conclusions.

Des essais de courte durée, effectués sur des végétaux préalablement cultivés dans les mêmes conditions, montrent que l'addition aux milieux nutritifs d'une très petite quantité d'acides humiques accélère fortement l'adsorption radiculaire et l'absorption proprement dite des ions minéraux. L'humus semble jouer un rôle de transporteur d'ions, accélérant leur transfert de la solution à la cellule. Le mécanisme intime de ce phénomène n'est pas connu ; l'augmentation de la « perméabilité » (terme d'ailleurs très vague) est plutôt une image qualitative, mais le fait expérimental est bien établi.

Ce n'est cependant pas là le seul rôle favorable de l'humus ; nous envisagerons maintenant ses effets sur divers mécanismes susceptibles d'accélérer la nutrition minérale.

V. — INFLUENCE DE L'HUMUS SUR DIVERS MÉCANISMES INTERVENANT DANS LA NUTRITION MINÉRALE.

1° Formation et croissance des racines.

L'effet stimulant de l'humus sur la formation et la croissance des racines a été abondamment étudié ; il est attesté par de nombreux résultats expérimentaux. Dès 1931, NIKLEWSKI montra que l'addition à l'eau de divers colloïdes, notamment l'humus, accélère fortement la croissance de la racine principale de la betterave, et la formation de racines secondaires (35). Ses travaux ont été ensuite largement développés en U. R. S. S., notamment par L. A. CHRISTEWA et M. M. KONONOWA (36, 37, 38, 39). L'école allemande s'est également préoccupée de ce problème (40). Empruntons aux travaux de L. A. CHRISTEWA quelques exemples (36, 37).

MISE EN ÉVIDENCE DE L'EFFET. — Le tableau suivant indique l'influence de l'humate de sodium sur la longueur des racines principales et la production de racines secondaires chez de jeunes céréales :

Culture	Traitement	A 7 jours		A 14 jours	
		Longueur des racines principales (mm)	Nombre de racines de 2e ordre	Longueur des racines principales (mm)	Nombre de racines de 2e ordre
Blé de printemps	Eau	68 ± 11	1	65 ± 9	7
	Humate Na	200 ± 20	58	324 ± 14	126
Orge	Eau	52 ± 9	1	58 ± 9	8
	Humate Na	240 ± 27	153	375 ± 21	356

L'effet stimulant est donc extrêmement marqué. Voyons maintenant les conditions dans lesquelles il se manifeste :

a) **Provenance et préparation de l'humus.** — Des acides humiques extraits de sols ou de tourbes ont montré sensiblement le même effet ; un produit préparé à partir de noir de fumée s'est révélé notablement moins actif. L'extrait alcalin de divers matériaux bruts (tourbe, schistes de houille) est seul actif ; les extraits aqueux et alcooliques n'exercent pas d'influence rhizogène. La fraction stimulante de la matière organique humifiée est donc bien l'acide humique (ou les corps qu'il adsorbe).

b) **Concentration en acide humique.** — On observe ici encore un optimum très marqué, ainsi que l'indiquent les chiffres suivants :

Concentration en acide humique	0	6.10^{-7}	6.10^{-6}	6.10^{-5}	6.10^{-4}	6.10^{-3}
Longueur des racines principales de blé (% du témoin)	100	127	240	200	128	90

c) **État de dispersion de l'acide humique.** — L. A. CHRISTEWA a neutralisé l'acide humique par divers cations, et examiné l'effet de ces produits sur les racines de jeunes plants de blé :

Essai	Nombre de racines de 1er ordre, par pl	Longueur des racines		Nombre de racines du 2e ordre
		en mm	% du témoin	
Eau distillée	3	35 ± 7	100	1
Humate K	3	84 ± 17	240	15
Humate Na	4	134 ± 17	382	20
Humate NH_4.....	4	139 ± 24	397	20
Humate Fe.....	3	58 ± 9	166	1
Humate Ca.....	3	65 ± 8	186	2

Les humates alcalins, très dispersés et produisant des solutions limpides, sont surtout actifs. L'effet stimulant s'atténue fortement lorsque l'acide humique est floculé par neutralisation avec le calcium ou le fer.

d) **Fraction minérale et fraction organique de l'acide humique.** — Dans cet essai, l'effet de divers humus a été comparé à celui de leurs fractions minérales, obtenues en faisant bouillir les humates avec de l'eau oxygénée jusqu'à minéralisation :

Taitement	Longueur des racines de 1er ordre		Nombre de racines de 2e ordre
	en mm	% du témoin	
Témoin :			
(eau distillée)	35 ± 7	100	1
Humates de sodium (2.10^{-6}) *provenant de :*			
tourbe	162 ± 22	463	34
sol	160 ± 27	457	35
noir de fumée	136 ± 29	388	18
Fractions minérales des humates de :			
tourbe	41 ± 6	117	1
sol	33 ± 3	94	1
noir de fumée	35 ± 4	100	1

Les cendres de l'humus ne manifestent aucun effet stimulant. Celui-ci est donc bien dû à la partie organique de la molécule d'acide humique.

e) **Variations selon les espèces végétales.** — L'influence stimulante de l'humus sur la formation et la croissance des racines est très marquée chez les céréales et diverses autres plantes. Certaines espèces réagissent cependant beaucoup moins. Voici à cet égard quelques résultats moyens indiqués par L. A. CHRISTEWA :

Espèces	Longueur des racines principales en présence d'humates Na, % du témoin
Céréales :	
Blé de printemps (moy. 5 var.)	265 %
Blé d'hiver (moy. 2 var.)	519
Orge (moy. 2 var)	249
Avoine (moy. 2 var.)	364
Maïs	382
Légumineuses :	
Pois	118
Haricot	139
Luzerne	201
Arachide	133
Plantes oléagineuses :	
Lin	95
Ricin	100
Tournesol (moy. 2 var.)	91
Cotonnier (moy. 3 var.)	145
Divers :	
Tomate	227
Betterave sucrière	237
Kok-Saghyz	180

Dans l'ensemble, l'effet de l'humus est donc moins marqué chez les légumineuses que chez les céréales, et encore moins chez les plantes oléagineuses. On observe d'autre part des différences appréciables entre les variétés d'une même espèce (37).

f) **Conclusions.** — De cet ensemble de données, il ressort nettement que les humates alcalins exercent, par la fraction organique de leurs molé-

cules, une forte influence stimulante sur la formation et la croissance des racines. La concentration optimum en humus se situe vers 10^{-6}. L'intensité de la réaction est variable selon les espèces et même les variétés ; les céréales se montrent particulièrement sensibles.

Signalons toutefois que l'humus semble surtout *accélérer* la rhizogénèse, plutôt qu'augmenter considérablement le développement du système radiculaire de plantes adultes, ainsi que nous avons pu l'observer qualitativement nous-même. Cette stimulation provoque, conjointement aux autres effets de la matière organique, une accélération de la croissance des végétaux, et le rendement final s'en trouve généralement accru.

2° Influence de l'humus sur divers processus métaboliques.

Dans ce domaine, les résultats sont beaucoup moins homogènes et complets qu'en ce qui concerne le rôle « rhizogène » de l'humus. Le problème est d'ailleurs plus difficile à étudier. Nous résumerons ici les principaux faits établis.

a) **Métabolisme des glucides.** — Dans des essais effectués sur des sols avec diverses fumures minérales et organiques, L. A. CHRISTEWA a obtenu en présence d'humus des récoltes plus abondantes, et les plantes étaient beaucoup plus riches en sucres réducteurs. L'activité de l'amylase était en outre plus grande.

Essai sur tomates.

Traitement	Récolte en matière verte g. par vase	Teneur en sucres réducteurs
Sans engrais	2,4	4,5 °/₀₀
NPK	2,5	4,5
Humkophos	7,5	8,3

Essai sur blé de printemps.

Traitement	Récolte en matière verte g. par vase	Teneur en sucres réducteurs	Activité de l'amylase
Fumure minérale 1N, 1P	8,4	1,8 °/₀₀	+
Id. + acide humique	10,5	2,8	++
Fumure minérale 3N, 1P	4,69	1,1	+
Id. sous forme humkophos.	10,64	2,8	++

La synthèse de sucres réducteurs et de glucides totaux (proportionnels, en première approximation, au poids des récoltes) a été notablement plus grande en présence d'humus. Celui-ci stimulerait donc le métabolisme glucidique. Telle est également la conclusion de E. SAALBACH (22), qui a

constaté une nette augmentation de l'activité de l'aldolase chez les feuilles de plantes cultivées dans des solutions contenant de l'acide humique.

b) **Métabolisme de l'azote.** — Nous emprunterons ici quelques résultats à R. CHAMINADE (41). L'auteur a effectué des cultures de ray-grass dans des solutions minérales de concentrations croissantes en azote nitrique, et très riches en tous les autres éléments. Ces solutions étaient additionnées ou non de 8,5 mg par litre d'humate de sodium extrait de terreau.

L'humus a notablement accru la production de matière sèche, surtout aux fortes concentrations des solutions, qui devenaient toxiques en l'absence d'humus. Cette augmentation de la croissance correspond à une absorption plus grande d'azote : l'azote des solutions concentrées a été beaucoup plus absorbé en présence d'humus, il ne se montre pas toxique.

L'addition d'humus ne modifie pas sensiblement la teneur des plantes en diverses formes d'azote. Les quantités totales de composés synthétisés sont cependant plus grandes en présence d'humus, puisque la récolte est plus élevée. Ainsi, l'augmentation de rendement dûe à l'humus ne semble pas provenir d'une modification qualitative du métabolisme azoté, mais plutôt d'une stimulation générale de ce métabolisme.

Que peut-on conclure de cet ensemble de résultats? Tout se passe comme si le frein imposé à l'absorption de l'azote aux fortes concentrations des solutions nutritives était dû à la teneur élevée des plantes en divers composés azotés. Le rythme de l'absorption serait alors conditionné par celui des synthèses. Or, celles-ci ont été incontestablement plus grandes en présence d'humus (récoltes plus fortes) ; la nutrition carbonée, notamment, a été notablement accélérée. Il semble donc, en accord avec l'ensemble des autres travaux, que l'humus ait exercé une stimulation générale du métabolisme, en particulier la production de chaînes carbonées indispensables à la synthèse des protéines. La synthèse accrue de métabolites accepteurs d'azote aurait favorisé ainsi l'utilisation de l'azote du milieu. Tous ces faits renforcent l'hypothèse formulée par E. SAALBACH, selon laquelle l'humus activerait la photosynthèse, par l'intermédiaire, par exemple, de l'aldolase (22).

c) **Métabolisme du phosphore.** — On possède encore peu de données précises sur ce sujet, bien que les premiers résultats paraissent très significatifs. L. A. CHRISTEWA a constaté que les plantes cultivées en présence d'humus étaient beaucoup plus riches en phosphore minéral (soluble dans l'acide trichloracétique). Le rapport du P soluble au P total augmentait dans certains cas de 8 p. 100 à 19 p. 100. L'absorption totale de P était également très accrue.

J. POMOT et P. LECAT ont montré aussi que l'absorption d'ions $^{32}PO_4$ radioactifs par de jeunes plants de seigle est considérablement accélérée par l'humus. A partir de cette propriété, les auteurs ont mis au point un test de dosage de l'activité biologique de l'humus (42, 43).

Enfin, E. SAALBACH a mis en évidence une activité plus grande des phosphatases chez les plantes cultivées en présence d'humus (22).

d) **Processus respiratoires.** — D'après L. A. CHRISTEWA, l'humate de sodium accélère fortement l'absorption de l'oxygène par les tissus des feuilles de blé et d'orge (36). L'auteur a cultivé ces plantes dans des solutions renfermant ou non l'humate de sodium, puis a mesuré l'absorption de l'oxygène par les feuilles en introduisant éventuellement de l'humus dans le milieu d'expérience. Les résultats sont résumés ci-dessous.

N°	Traitement		Absorption d'O_2 en mm³ par 2 g de feuilles, pendant 10 minutes	
	Culture sur	Expériences dans	Blé	Orge
1	Eau	Eau	11,3	20,74
2	sol. humate Na	Eau	15,96	27,79
3	Eau	sol. humate Na 0,005 %	29,45	44,92
4	sol. humate Na	sol. humate Na 0.005 %	28,17	42,63

L'activité respiratoire de ces feuilles est donc fortement augmentée par l'humate de sodium. Les plantes cultivées en présence d'humus se montrent plus actives que les témoins (comparaison des nos 2 et 1). Mais l'effet est maximum lorsque le milieu expérimental contient lui-même l'humus (nos 3 et 4).

Le même auteur a observé également des augmentations importantes de l'activité de la peroxydase et de la catalase chez les plantes soumises à l'influence de l'humus. Cette influence est particulièrement marquée, pour la peroxydase, chez les racines de blé. La tomate est aussi très sensible (36, 37).

e) **Conclusions.** — Cette brève revue des résultats expérimentaux montre que l'effet stimulant de l'humus se manifeste sur divers processus métaboliques importants : synthèse des glucides et des composés azotés, dynamique du phosphore, respiration. Cette stimulation de l'ensemble du métabolisme n'est-elle qu'une *conséquence* de l'accélération de la nutrition minérale, ou, au contraire, l'humus peut-il agir *directement* sur le métabolisme? Il semble bien qu'une action directe puisse se manifester. C'est ce que nous allons examiner maintenant, dans le cadre des diverses hypothèses qui ont été émises pour expliquer le rôle de l'humus.

VI. — HYPOTHÈSES RELATIVES AUX MODES D'ACTION DE L'HUMUS

Trois grandes hypothèses ont été énoncées ; elles s'appuient toutes les trois sur la constitution et les propriétés de l'humus. Ce sont :

— l'hypothèse de l'école allemande (FLAIG, SAALBACH), fondée sur l'activité physiologique des noyaux quinoniques que l'on rencontre dans la molécule d'acide humique. Pour appuyer cette hypothèse, les auteurs ont effectué un grand nombre de travaux à l'aide de « substances modèles » ;

— l'hypothèse de formation de complexes entre l'acide humique et les ions minéraux, plus facilement absorbables par les plantes ;

— l'hypothèse selon laquelle l'humus fournit aux plantes des facteurs de croissance (vitamines, auxines...).

Ces trois hypothèses ne s'excluent d'ailleurs pas entre elles. Examinons successivement les arguments qui ont servi à étayer chacune d'elles.

1° Activité physiologique des substances modèles quinoniques.

W. FLAIG, E. SAALBACH et leurs collaborateurs ont consacré un grand nombre d'intéressants travaux à cette étude. Nous les résumerons brièvement ici.

a) **Les substances modèles utilisées.** — Les auteurs se sont particulièrement attachés à l'étude de l'influence physiologique des substances quinoniques, car on les trouve en abondance dans la molécule d'acide humique. Leur origine peut être double (8, 9, 44) :

— la lignine renferme de nombreux noyaux phénoliques oxydables en quinones (45) ;

— des quinones sont souvent sécrétées par les microorganismes que l'on trouve couramment dans le sol (40).

Un grand nombre de produits ont été expérimentés : benzoquinones, naphtoquinones, anthraquinones... Beaucoup d'entre eux manifestent une influence physiologique, notamment sur la croissance des racines de cresson (40). Deux substances particulièrement actives ont été surtout retenues, et ont servi à des essais plus détaillés : la thymohydroquinone et la 1, 2, 4, 5, 8 pentaoxyanthraquinone.

b) **Influence de ces substances sur la formation et la croissance des racines.** — De même que l'humus, les dérivés quinoniques accélèrent très fortement la croissance des racines. Au cours d'un essai, la pentaoxyanthraquinone a augmenté de 40 p. 100 la longueur des racines du cresson (40). L'effet se manifeste très tôt, parfois même dès la germination (46).

Une dose optimum apparaît nettement, vers une concentration voisine de 10^{-6} (1 mg par litre). L'addition de thymohydroquinone a permis d'augmenter de 7 à 22 p. 100 le poids total du système radiculaire de blés de printemps, à la fin de la végétation (47).

c) **Influence sur divers processus métaboliques :** GLUCIDES — Les dérivés quinoniques sont susceptibles d'accoître la teneur des plantes en sucres réducteurs. Cependant, des concentration élevées sont nécessaires (thymohydroquinone 10^{-3} molaire, 48). Une action stimulante sur certains enzymes a également été mise en évidence *in vitro*, pour des concentrations de 10^{-5}, notamment sur l'aldolase, la saccharase et l'amylase (49).

AZOTE : Les auteurs ont démontré une accélération par les quinones des réactions de désamination oxydative du glycocolle et du tryptophane (50).

PHOSPHORE : A une concentration de 10^{-4} mol., la thymohydroquinone stimule légèrement l'activité des phosphatases (49). Par contre, cette substance arrête, à la concentration 10^{-3}, l'absorption du phosphore par le seigle (51).

RESPIRATION : W. FLAIG attribue à l'augmentation de la respiration la part principale de l'influence favorable qu'exercent les quinones sur la croissance des plantes (20). L'effet de ces substances sur quelques systèmes enzymatiques a été étudié ; elles stimulent notamment l'oxydation de l'acide ascorbique et du lactate de sodium par la tyrosinase et la lacticodéshydrogénase, ainsi que la désamination oxydative des acides aminés (50, 52, 53). Ces substances quinoniques agiraient en somme essentiellement comme des catalyseurs d'oxydo-réduction.

d) **Conclusions.** — Les auteurs allemands retrouvent parmi les effets physiologiques de ces substances modèles quinoniques la plupart des effets dûs à l'humus. Ces effets ne s'exercent cependant qu'à des concentrations souvent plus élevées que celles de l'acide humique lui-même Il semble donc que les groupes quinoniques de l'humus soient plus « actifs » que les modèles expérimentés, ou que l'humus n'agisse pas *uniquement* par ces groupes quinoniques.

Par ailleurs, l'influence qu'exercent les quinones sur la respiration pourrait expliquer les multiples effets de l'humus (formation et croissance des racines, stimulation générale de la nutrition et des synthèses), qui seraient en réalité des conséquences de la plus grande activité respiratoire (20).

Si l'hypothèse de l'intervention des groupes quinoniques dans les processus d'oxydo-réduction ne rend pas totalement compte, quantitativement, des effets physiologiques de l'humus, elle apparaît néanmoins très plausible.

2° Intervention de l'humus comme agent complexant des ions minéraux.

Cette hypothèse a été formulée explicitement par J. LAVOLLAY (2) et par P. C. De KOCK (54, 55). Divers acides organiques forment avec les cations métalliques des complexes très stables (liaisons chélatées); c'est en particulier le cas de l'acide éthylène diaminotétracétique (EDTA), appelé couramment « versenate ». Ces complexants facilitent l'absorption de certains ions minéraux qui tendent à s'insolubiliser dans les milieux nutritifs, notamment le fer qui précipite souvent à l'état de phosphates. Les agents chélateurs joueraient en outre un rôle de vecteurs, de transporteurs d'ions, entre le milieu et les racines des plantes (2). Toutefois, leur effet paraît surtout important à l'égard des cations trivalents (Cr, Al, Ga, In), dont l'utilité pour les plantes n'est pas absolument démontrée (55). Ces questions demeurent assez controversées (55).

L'humus forme incontestablement des complexes stables avec les cations bivalents et trivalents, ainsi qu'avec les ions phosphoriques. Des travaux déjà anciens de C. OLSEN lui attribuent une influence favorable très marquée dans l'absorption du fer par les plantes (56). Ainsi, l'auteur a cultivé des lentilles d'eau sur des solutions dans lesquelles le fer était apporté sous diverses formes : Cl_3Fe ; citrate ou tartrate ; humate. La croissance a été bien meilleure dans les deux derniers milieux, et l'on peut penser que c'est en raison du rôle complexant des composés organiques. Toutefois, il n'est pas exclu que les plantes aient utilisé directement aussi les acides citrique ou tartrique, ce qui conduirait à une interprétation erronée.

L'hypothèse d'intervention de l'humus comme agent complexant est très plausible. Elle est cependant incomplète, car elle n'explique pas l'effet stimulant très marqué de l'humus sur l'absorption d'ions monovalents, tels les nitrates et le potassium, qui ne sont pas complexés (57).

3° Les facteurs de croissance de l'humus.

Dès 1914, BOTTOMLEY émit l'hypothèse selon laquelle des tourbes soumises à des cultures microbiennes, puis stérilisées, exerçaient une action favorable sur la croissance des plantes grâce à des facteurs qu'il nommait « auximones ». Ces facteurs seraient comparables aux vitamines (1). Cette hypothèse a été ensuite très controversée. On démontra que, malgré leur effet stimulant, les substances humiques ne sont pas indispensables au développement des plantes, contrairement à ce que l'on observe pour les vitamines chez les animaux.

Plus récemment, ces études ont été reprises précisément sous l'angle des vitamines. On trouve dans la matière organique des sols la plupart des vitamines, et certaines au moins d'entre elles exercent effectivement

une action stimulante sur le développement des végétaux (18, 19). C'est notamment le cas de l'aneurine, étudié par SANDOZ (58). La vitamine B_1 exerce des effets comparables en certains points à ceux de l'humus : augmentation de la matière sèche produite, du système radiculaire et de la nutrition minérale (concentrations de l'ordre de 10^{-6} dans les solutions nutritives). Notons que l'aneurine intervient précisément dans les processus respiratoires (59).

On envisage aussi maintenant l'influence de l'acide β indolacétique, que l'on trouve dans la plupart des sols (16, 17). L'auxine est sécrétée par des microorganismes qui font partie de la population habituelle du sol (45). Enfin, la brève revue donnée ci-dessus des métabolites importants rencontrés dans la matière organique humifiée suffit à rendre probable l'intervention de ces facteurs de croissance dans la nutrition et la croissance des plantes. Cette troisième hypothèse est donc au moins aussi sûre que les deux précédentes ; elle ne les exclut d'ailleurs pas.

4° Importance de l'humification et rôle des microorganismes.

La matière organique fraîche, incorporée au sol, ne manifeste pas les effets de l'humus. Il est nécessaire que les phénomènes de décomposition et de resynthèse microbiennes se produisent pour qu'apparaisse l'action stimulante. Citons à cet égard quelques résultats obtenus en comparant l'influence, sur la nutrition minérale du seigle, de pailles différemment traitées (CHAMINADE et BLANCHET, 57) :

— paille stérilisée ;

— paille stérilisée, puis ensemencée en microorganismes par un extrait de fumier et incubée à l'étuve pencant 20 jours ;

— paille stérilisée, puis oxydée en milieu alcalin pendant 20 jours par un courant d'air stérile.

Traitement	Eléments minéraux absorbés en 18 j. par 100 pl. , en mg.				
	N	P	K	Ca	Mg
Paille stérilisée ...	25 mg	5,5	18	11	6,2
Paille ensemencée.	30,3	6,5	25	13	8
Paille oxydée stérile	21	4,6	17	10,5	5,4

Bien qu'elle contienne des substances colloïdales comparables à l'acide humique, la paille oxydée en milieu stérile n'a eu aucun effet sur l'absorption des éléments minéraux. L'humification par les microorganismes de la matière organique végétale est donc une condition primordiale de l'apparition d'une action stimulante sur la nutrition minérale des plantes. L'influence directe de substances d'origine microbienne a d'ailleurs pu être mise en évidence par la méthode plasmolytique (60).

5° Conclusions.

Ces diverses hypothèses concernant le mode d'action de l'humus sur la nutrition et la croissance des plantes se complètent entre elles plutôt qu'elles ne s'excluent. L'activité physiologique de certaines quinones est bien établie ; elles paraissent surtout activer les oxydations respiratoires, entraînant une stimulation générale du métabolisme ainsi que des nutritions minérale et carbonée. L'acide humique possède un pouvoir complexant élevé, et il semble bien se comporter comme un transporteur d'ions. Cependant, même dans des essais effectués en des temps courts, il n'est pas impossible que l'influence respiratoire soit prépondérante, et stimule elle-même l'absorption.

D'autre part, la présence de nombreux facteurs de croissance dans la matière organique humifiée incite à penser que la plante peut les utiliser plus ou moins directement. On peut d'ailleurs observer une certaine similitude entre l'influence des vitamines et auxines et celle de l'humus. Toutefois, les constituants de débris végétaux ne paraissent guère utilisables tels quels par d'autres cultures ; ils doivent subir d'abord les processus intermédiaires de l'humification. Le rôle des microorganismes apparaît ainsi prépondérant ; ce sont d'ailleurs incontestablement eux qui édifient les molécules d'acide humique.

VII. — HUMUS ET CAPACITÉ DE PRODUCTION DES SOLS

Après avoir examiné les interventions plus ou moins directes de l'humus dans la nutrition minérale des plantes en solutions pures, envisageons maintenant son influence globale sur l'alimentation des végétaux dans le sol. Ce problème étant extrêmement vaste, nous nous bornerons à en résumer les points essentiels.

1° Rôles multiples de l'humus dans la fertilité.

La fertilité, selon l'expression de A. DEMOLON (61), « représente une fonction de nombreuses variables dont la plupart ne sont elles-mêmes ni simples ni indépendantes ». C'est dire la complexité de cette notion. La fertilité est fonction des trois grandes catégories de propriétés du sol : physiques, chimiques et biologiques. Voyons brièvement le rôle de l'humus dans ces propriétés (61, 62).

a) **Propriétés physiques :**

— L'humus exerce une action très favorable sur la *structure* du sol, c'est-à-dire sur l'agglomération des particules en agrégats de taille moyenne. Cela permet une bonne circulation de l'air et de l'eau dans le

sol, et une pénétration facile des racines. La résistance à l'érosion est d'autre part augmentée.

— La matière organique et les colloïdes humiques augmentent la capacité de rétention de *l'eau* (63). Or, celle-ci est souvent un facteur limitant les rendements.

b) **Propriétés chimiques :**

— Participant à la constitution du complexe colloïdal du sol, les colloïdes humiques augmentent sa *capacité d'échange* d'ions ; ce facteur est généralement favorable.

— Le rôle complexant de l'acide humique permet la formation de *complexes phospho-humiques*, c'est-à-dire le maintien du phosphore sous une forme assimilable même en présence de calcaire ou de fer libre (64).

— L'humus semble atténuer la *rétrogradation du potassium* (passage à l'état non échangeable, plus difficilement utilisable par les plantes)

— Enfin, l'humus représente une *réserve d'éléments nutritifs*, notamment d'azote, mis lentement à la disposition de la plante au fur et à mesure de sa minéralisation.

c) **Propriétés biologiques :**

— L'humus entretient *l'activité microbienne* dans les sols, facteur important de la fertilité.

— Il stimule notamment l'activité des organismes *nitrificateurs et fixateurs d'azote* atmosphérique.

Il convient naturellement d'ajouter à toutes ces actions favorables de l'humus celle qui a été exposée ci-dessus, et qui a trait à son influence stimulante sur la nutrition minérale des plantes.

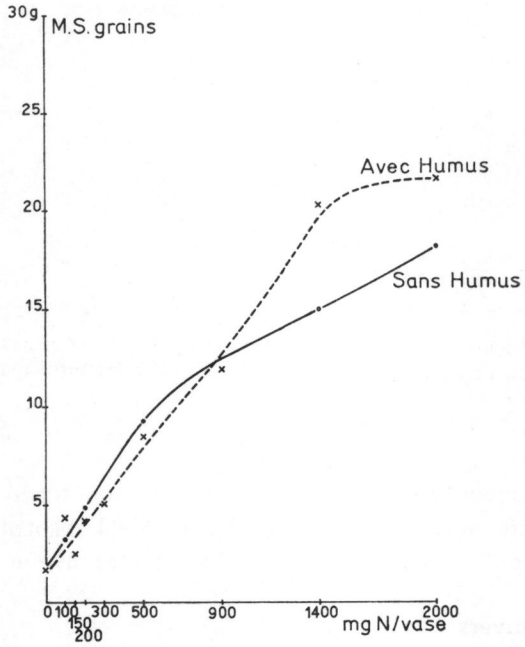
2° L'humus augmente la capacité de production des sols.

Pour des raisons principalement économiques, (manque de main-d'œuvre, évolution des marchés...), de nombreuses fermes ont été amenées à abandonner l'élevage, et la production de fumier. Les restitutions au sol de matières organiques ont alors été extrêmement restreintes, et la teneur des sols en humus s'est abaissée. Malgré l'intensification des fumures minérales, on a souvent constaté un fléchissement des rendements, dans les fermes bien tenues. Le problème du rôle de l'humus dans la capacité de production des sols s'est donc posé sur un plan tout à fait pratique. Il a donné lieu à diverses expérimentations, dont nous donnerons ici quelques exemples.

a) **Essais en vases de végétation, avec apport d'acide humique** (R. CHAMINADE, 25).

Ces essais ont été conduits en apportant à un sol pauvre en matière organique d'abondantes fumures phosphopotassiques, et des doses croissantes d'azote. Une série de vases recevait en outre une quantité d'acide humique correspondant à 0,33 p. 100 du poids de terre. Les résultats sont indiqués par le graphique 2.

Pour les faibles doses d'azote, les rendements ont été limités par l'insuffisance de cet élément ; ils augmentent en fonction des fumures.



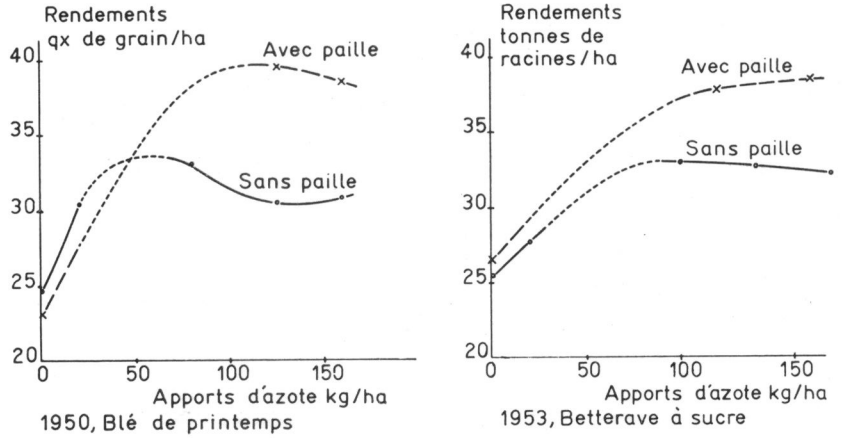
Graphique 2. — Récoltes de blé (grains), en fonction des apports d'azote avec et sans humus.

Aux doses élevées d'azote, le rendement obtenu en présence d'humus est notablement plus grand. Les éléments minéraux se trouvaient cependant tous en quantités largement suffisantes dans le milieu. L'humus a permis à la plante de mieux les utiliser ; il a donc élevé la capacité maximum de production de ce sol, en accélérant la nutrition minérale, la nutrition carbonée et ainsi la croissance.

b) **Essais en plein champ, avec apports de paille** (G. BARBIER et P. BOISCHOT, 65). Ces essais effectués dans des parcelles expérimentales du domaine de Versailles ont porté sur cinq ans. Une série de parcelles recevait des doses croissantes d'azote, sans fumure organique ; l'autre série recevait à la fois des doses croissantes d'azote et de la paille, enfouie à raison de

5 tonnes par hectare. Les fumures phospho-potassiques étaient uniformes et élevées. Le graphique 3 représente les résultats obtenus en 1950 (blé de printemps) et en 1953 (betterave sucrière).

Les conclusions sont identiques à celles de l'essai précédent : l'humus a notablement augmenté la capacité maximum de production de ce sol. Lorsque les apports d'azote atteignent en l'absence d'humus des doses inefficaces ou toxiques, la présence de matière organique humifiée permet



Graphique 3. — Rendements obtenus, avec et sans paille, en fonction de doses croissantes d'azote.

aux plantes de mieux utiliser cet azote, et d'augmenter le rendement. La cause de ce phénomène est une stimulation de l'absorption des autres éléments minéraux, et de l'ensemble du métabolisme.

c) **Essais divers.**

On trouve dans la littérature un grand nombre de faits comparables à ceux qui ont été rapportés ici. En particulier, L. A. CHRISTEWA a bien établi la supériorité de la fumure organo-minérale sur la fumure uniquement minérale (36, 37). L'influence est plus ou moins accentuée selon les plantes, ainsi que l'indiquent les résultats ci-dessous (moyennes de plusieurs années) :

Traitement	Rendement, en % du témoin sans engrais						
	Tomate	Blé de printemps	Avoine	Sarrazin	Pomme de terre	Lupin	Pois
Sans engrais	100	100	100	100	100	100	100
N P K.....	229	218	223	114	115	103	114
Humkophos	343	256	241	135	152	105	110

Il est important de remarquer que, de même qu'en solution nutritive, l'influence de l'humus est très marquée sur les céréales, la tomate, la pomme de terre ; elle reste au contraire très faible sur les légumineuses. On retrouve donc dans le sol tous les caractères de l'influence de l'humus mis en évidence dans les solutions nutritives.

3° Conclusions.

L'humus est un facteur important de la fertilité des sols ; il contribue à maintenir ou à améliorer leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques. En outre, grâce à son action stimulante sur la nutrition minérale et la croissance des plantes, il augmente la capacité maximum de production des sols. On obtient en présence d'humus des rendements que la fumure minérale seule ne permet pas d'atteindre. L'azote, élément le plus coûteux de la fumure minérale et stimulant puissant de la végétation, acquiert, grâce à l'humus, son *efficacité* maximum.

Cela explique la grande importance attachée aux fumures organiques dans les sols horticoles, soumis à une exploitation particulièrement intensive, notamment à la culture de plantes à croissance très rapide.

VIII. — HUMUS ET FERTILISATION

La fumure organique est ainsi une pratique indispensable à l'obtention de rendements élevés. Doit-on, pour cela, en conclure qu'elle est seule valable? Il est nécessaire d'examiner d'un peu près cette question, car les doctrines les plus fantaisistes se font jour actuellement.

1° Les théories « biodynamiques ».

Depuis la dernière guerre, on a assisté en France et dans divers pays étrangers à l'éclosion d'une propagande active prônant la suppression des fumures minérales, et le seul emploi de produits organiques tels que composts, engrais « bactériens » divers, doués de propriétés plus ou moins mystérieuses. Ces théoriciens affirment que les végétaux cultivés à l'aide d'engrais minéraux sont appauvris en vitamines, et néfastes à la santé.

Ces affirmations ne sont fondées sur aucune preuve solide. Sans entrer ici dans le problème de la qualité des récoltes, on peut dire qu'aucune étude sérieuse et générale n'a été faite de cette question extrêmement complexe. Signalons simplement les travaux actuellement en cours à l'École Nationale d'Agriculture de Grignon, qui semblent plutôt démontrer le contraire (résultats non encore publiés). Des souris sont exclusivement nourries depuis deux ans avec les produits d'un champ d'expé-

riences dont les parcelles ont reçu pendant plus de cinquante ans, soit uniquement du fumier, soit uniquement des engrais minéraux, soit enfin aucun engrais. Contrairement à ce que l'on aurait pu attendre, ce sont les animaux nourris avec les produits des parcelles à engrais minéraux qui manifestent le moins de symptômes pathologiques.

2° Nécessité de la restitution des éléments minéraux prélevés par les cultures.

S'alimentant aux dépens du sol, les cultures l'appauvrissent chaque année en éléments minéraux. C'est ce prélèvement de substances nutritives que l'on désigne par « exportation des récoltes ». Ces exportations sont fonction de l'espèce végétale, des rendements obtenus, etc. Un ordre de grandeur très approximatif est : 100 kg N, 40 kg P et 100 kg K par hectare et par an. Il s'agit donc d'un appauvrissement important, et, pour conserver la fertilité du sol, il est nécessaire de lui restituer ces éléments. Sauf dans des cas relativement rares, l'altération des minéraux ne peut en effet libérer suffisamment de P et de K pour combler ce déficit. La fixation d'azote atmosphérique est également insuffisante, sauf dans le cas des légumineuses (66, 67). La minéralisation de l'humus fournit, certes, des éléments minéraux ; mais c'est au détriment du stock d'humus, qu'il importe cependant de maintenir.

Cette restitution peut s'effectuer sous forme de fumures organiques ou sous forme de fumures minérales. En agriculture intensive, la restitution exclusive des exportations des récoltes par des fumures organiques ne peut être envisagée. D'une part, elle est trop coûteuse ; d'autre part, on ne dispose pas de réserves suffisantes de matières organiques. Il est donc indispensable de recourir aux engrais minéraux, qui sont d'ailleurs d'un emploi beaucoup plus souple.

3° La doctrine agronomique : les fumures organominérales.

La doctrine des stations agronomiques françaises et étrangères tient compte à la fois des possibilités économiques et des nécessités culturales. Elle vise à l'obtention des rendements les plus élevés possibles, en respectant la qualité des récoltes. Cet objectif est imposé par le besoin impérieux d'aliments, l'ensemble de la population mondiale étant très sous-alimenté.

Ses grandes lignes sont les suivantes :

a) Dans les sols possédant un bon niveau de fertilité, il est nécessaire de compenser chaque année les exportations des récoltes. Si le sol est déficient en P ou K, éléments fortement retenus par le complexe colloïdal, on apportera des fumures un peu supérieures aux exportations. Les pertes

d'humus doivent être également compensées ; dans les sols très appauvris en matière organique, on s'attachera de même à reconstituer peu à peu les réserves humiques.

b) Les variations de la teneur en humus des sols sont lentes, du moins sous les climats tempérés (68). L'abandon des fumures organiques ne se traduit pas immédiatement par une baisse des rendements, le phénomène peut même rester inaperçu pendant un certain nombre d'années. Il n'en finit pas moins par se manifester, et la reconstitution de bonnes réserves humiques s'avère longue, difficile, et onéreuse. Il est donc important de ne pas laisser le sol s'appauvrir en matières organiques.

c) La fumure organique est un facteur important de l'utilisation par la plante des fumures minérales. Elle accroît en particulier l'efficacité de la fumure azotée (41, 65), et même celle de la fumure potassique (69). Elle est presque indispensable dans les sols riches en hydroxydes métalliques pour maintenir sous forme assimilable le phosphore apporté par les engrais (70).

d) Il est donc conseillé de coupler les deux fumures, c'est-à-dire de pratiquer des fumures organo-minérales (71). Il est vivement recommandé de tirer le plus grand parti des résidus de récoltes, tels que les pailles, collets de betteraves, etc. L'enfouissement des pailles plutôt que leur brûlage tend heureusement à se répandre ; il donne toute satisfaction lorsqu'il est effectué correctement (72).

e) Il n'existe aucun antagonisme entre les fumures organique et minérale. Au contraire, l'obtention de rendements élevés grâce à la fumure minérale augmente les résidus des récoltes, et permet ainsi un plus grand retour au sol de produits organiques. Les fumures organo-minérales bien conduites sont maintenant à la base de l'agriculture intensive.

4° Conclusions.

Les théories « biodynamiques » condamnant l'emploi des engrais minéraux n'ont aucun fondement sérieux. Des essais récents mettent au contraire en évidence le rôle favorable des fumures bien équilibrées sur la nutrition animale. Ces théories sont d'ailleurs inapplicables en fait. La restitution au sol des éléments minéraux prélevés par les récoltes est indispensable au maintien de la fertilité. Il est non moins indispensable de maintenir les réserves humiques des sols. Aussi, la fertilisation bien conduite fait appel aux fumures organo-minérales, qui satisfont à ces deux conditions. Leur emploi éclairé permet, selon les cas, la conservation ou l'amélioration de la fertilité des terres.

Résidus végétaux
Humus
Fumures organiques
Microorganismes
Acides humiques
Complexe lignoprotéique (quinones)
Métabolites et facteurs de croissance divers
Réactions enzymatiques Red-Ox
Respiration stimulée
Stimulation
Système radiculaire
Nutrition minérale
Nutrition carbonée
Ensemble du métabolisme.
Agent complexant
Transporteur d'ions
Absorption accélérée
Stimulation du métabolisme
Accélération de la croissance.
Augmentation du rendement.
Augmentation de la capacité de production.
Absorbés ?
Stimulation de l'absorption et du métabolisme
influence directe sur la plante
Structure
Rétention de l'eau
Capacité d'échange
Assimilabilité de P et K
Libération de N
Activité microbienne
Propriétés du sol
Fumures minérales
(+ travail du sol ...)
SOL
Augmentation des résidus végétaux.

IX. — CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Ces conclusions sont résumées dans le tableau ci-joint. L'humus se forme aux dépens des matières organiques végétales, grâce à un ensemble de processus de décompositions et de resynthèses microbiennes. Les colloïdes humiques sont constitués essentiellement par un complexe ligno-protéique, de caractère acide, renfermant de nombreux noyaux quinoniques. Ces colloïdes adsorbent en outre un grand nombre de métabolites et de facteurs de croissance importants.

L'addition de très petites quantités d'acide humique aux solutions nutritives bien équilibrées augmente la vitesse de l'absorption des ions minéraux par la plante. L'humus accélère l'adsorption des ions à la surface des racines, et leur pénétration à l'intérieur des cellules. Il se comporte ainsi comme un transporteur d'ions ; cet effet peut être dû en partie à son pouvoir complexant élevé.

Les plantes cultivées en présence d'humus présentent un métabolisme plus actif ; en particulier, l'activité respiratoire est notablement augmentée. Cette action s'explique par l'intervention des groupes quinoniques dans les phénomènes d'oxydo-réduction, largement démontrée *in vivo* et *in vitro* à l'aide de substances modèles. L'aldolase est particulièrement stimulée ; les auteurs allemands voient là le mécanisme qui permet à la plante d'accroître son activité assimilatrice. D'après ces auteurs, la stimulation de la respiration est le rôle physiologique essentiel de l'humus ; elle permet d'expliquer les autres effets favorables des substances humiques : développement du système radiculaire, accélération de la nutrition minérale et carbonée, augmentation de l'activité métabolique et de la croissance.

Il est en outre probable que les plantes sont susceptibles d'utiliser certains facteurs de croissance contenus dans l'humus (vitamines, auxines). L'absorption par la plante des constituants de l'humus n'a cependant jamais été démontrée de façon rigoureuse.

Grâce à ses effets physiologiques, l'humus augmente la capacité de production du milieu nutritif, et l'efficacité des éléments apportés. Outre les importantes actions favorables qu'il exerce sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, son influence directe sur la nutrition minérale des plantes permet l'obtention de rendements plus élevés qu'en présence des seuls éléments minéraux. La fertilisation bien conduite doit donc être effectuée à l'aide de fumures organo-minérales. La fumure organique et la fumure minérale ne sont nullement antagonistes, elles se renforcent au contraire mutuellement.

RÉSUMÉ

L'addition de très petites quantités d'acide humique à des solutions nutritives bien équilibrées accélère l'adsorption des ions minéraux à la surface des racines, et leur pénétration à l'intérieur des cellules. Les plantes cultivées en présence d'humus présentent un métabolisme plus actif ; en particulier, l'activité respiratoire est notablement augmentée. Cette action peut s'expliquer par l'intervention des groupes quinoniques de l'acide humique dans les phénomènes d'oxydo-réduction, mise en évidence à l'aide de substances modèles. D'autre part, il est probable que les plantes sont susceptibles d'utiliser certains facteurs de croissance contenus dans la matière organique humifiée (vitamines, auxines).

Grâce à ses effets physiologiques, l'humus augmente la capacité de production du milieu nutritif, et l'efficacité des éléments apportés. Outre les importantes actions favorables qu'il exerce sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, son influence directe sur la nutrition minérale des plantes permet l'obtention de rendements plus élevés qu'en présence des seuls éléments minéraux.

SUMMARY

The direct and indirect effect of humified organic matter on the nutrition of vascular plants.

Addition of very small amounts of humic acid to well balanced nutrient solutions hastens the adsorption of mineral ions on the root surface and their penetration into the cells. Plants grown in the presence of humus show a more active metabolism, particularly in respect of the markedly increased respiration activity. This effect may be explained by the intervention of the quinone groups of humic acid in the oxidation-reduction process, as shown on model substances. On the other hand, it is probable that plants are capable of utilizing certain growth substances (vitamins, auxins) contained in humified organic matter.

Humus, due to its physiological effects, increases the production capacity of the nutrient medium and the efficiency of the nutrients applied. In addition to the beneficial effects on the physical, chemical and biological properties of soil, humus has a direct effect on the mineral nutrition of plants and thus leads to higher yields than mineral elements alone.

ZUSAMMENFASSUNG

Direkte und indirekte Wirkungen der humifizierten organischen Substanz auf die Ernährung der höheren Pflanzen.

Der Zusatz von sehr geringen Mengen Huminsäuren zu gut ausgeglichenen Nährlösungen beschleunigt die Adsorption der Mineralionen an der Wurzeloberfläche und ihr Eindringen in das Innere der Zellen. Beim Vorhandensein von Humus zeigt die anbebaute Pflanze ein aktiverer Stoffwechsel, unter anderem wird die Atmungstätigkeit stark erhöht. Diese Wirkung kann durch das Einschreiten der Chinongruppen der Huminsäure in den Redox-Vorgängen, wie es Modellsubstanzversuche bewiesen haben, erklärt werden. Andererseits, ist es wahrscheinlich, dass die Pflanzen fähig sind gewisse in der humifizierten organischen Substanz vorhandenen Wuchsstoffe (Vitamine, Auxine...) zu verwerten.

Durch die physiologischen Wirkungen der Humusstoffe wird die Produktionsfähigkeit eines Nährmilieu und die Wirksamkeit der zugefügten Nährstoffe erhöht. Abgesehen davon, dass Humus sehr günstige Wirkungen auf die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften des Bodensausübt erlaubt seine direkte Wirkung auf die Mineralernährung der Pflanzen höhere Erträge zu erreichen als bei dem Vorhandensein von nur Mineralnährstoffen.

Прямое и косвенное действие гумифицированных органических веществ на питание сосудистых растений.

БЛЯНШЭ.
Версальская Агрономическая Станция.

РЕЗЮМЭ

Прибавление очень небольших количеств гумусовой кислоты к хорошо уравновешенным питательным растворам ускоряет поглощение минеральных ионов на поверхности корней и их проникновение вглубь клеток. Культурные растения, в присутствии гумуса, имеют более деятельный метаболизм; в частности, интенсивность дыхания значительно увеличивается. Это действие может быть объяснено участием хиноновых групп (groupes quinoniques) гумусовой кислоты в явлениях окисления-восстановления (oxydo-réduction), как это выявляется при помощи « substances modèles ». С другой стороны возможно, что растения способны использовать некоторые факторы роста, имеющиеся в гумифицированном органическом веществе (витамины, оксины = vitamines, auxines...).

Благодаря своим физиологическим воздействиям, гумус увеличивает производительную способность питательной среды и эффективность внесенных элементов. Сверх важных дейтсвий, что он имеет на физические, химические и биологические свойства почвы, его прямое влияние на минеральное питание растений позволяет получать урожаи более высокие, чем в присутствии одних лишь минеральных элементов.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) WAKSMAN (S. A.). — *Humus.* — Williams and Wilkins Company, Baltimore, 494 p. 1936.
(2) LAVOLLAY (J.). — Trois aspects de la nutrition minérale, *Bull. Soc. Fr. Physiol. Vég.*, **3**, p. 67-74. 1955.
(3) DEMOLON (A.). — *La dynamique du sol,* Dunod, Paris, p. 148-160. 1952.
(4) WAKSMAN (S. A.). — *Soil Microbiology,* Wiley, New York, p. 29-58. 1952.
(5) DEMOLON (A.). — *loc. cit.*, p. 425-432.
(6) WAKSMAN (S. A.). — *Soil Microbiology,* Wiley, New York, p. 124-148. 1952.
(7) BREMNER (J. M.). — A review of recent work on soil organic matter, *J. of Soil Sc,* **5**, p. 214-232. 1954.
(8) FLAIG (W.). — Zur Chemie der Huminsäuren und deren Modellsubstanzen, *VI° Cong. Int. Sc. Sol,* Paris, Vol. B, p. 471-478. 1956.
(9) FLAIG (W.). — Beiträge zur Chemie der Mollsubstanzen von Huminsäuren, *Landwirt. Forsch.*, **6** p. 94-101. 1955.
(10) FLAIG (W.). — Modellsubstanzen von Huminsäuren, *Proceed. Nat. Acad. Sc. India,* 24 (A III), p. 271-274. 1955.
(11) FLAIG (W.), SCHOBINGER (U.) und STEINMETZ (A.). — Uber die Bildung der Huminstoffe, *Laundbauforschung Völkenrode,* **4**, p. 78-80. 1957.
(12) BEUTELSPACHER (H.). — Elektronenmicroscopische Untersuchungen über den Ton — Humus Komplex, *Proceed, Nat. Acad. Sc. India,* **24** (A II), p. 132-141. 1955.

(13) KONONOWA (M. M.) und BELTSCHIKOWA (N.P .). — Humus der Böden der U. D. S. S. R., sein Natur und Rolle in Bodenbildungsprozessen, *C. R. VI° Congr. Int. Sc. Sol.* Paris, Vol. B, p. 557-565. 1956.
(14) DUCHAUFOUR (J.). — Les humus forestiers, *Bull. Assoc. Fr. Etude Sol,* **30**. p. 10-16. 1952.
(15) DROUINEAU (G.). — L'azote du sol, *Bull. Techn. d'inf. des I. S. A.*, **81**, p. 503-514. 1953.
(16) HAMENCE (J. H.). — Recherche de l'auxine dans les sols, *Analyst,* **71**, p. 111-117. 1946.
(17) HAMENCE (J. H.). — The effect of organic manure on the auxin content of soils, *J. Soc. Chem. Ind.* **67**, p. 277. 1948.
(18) ROULET (M. A.) et SCHOPFER (W. H.). — Les vitamines du sol et leur signification, 4° *C. R. Congr. Int. Sc. Sol. Amsterdam,* Vol, I, p. 202-204. 1950.
(19) SCHMIDT (E. L.) et STARKEY (R. L.). — Microorganismes du sol et régulateurs de croissance. *Soil Sc.*, **71**, p. 221-231. 1951.
(20) FLAIG (W.). — Uber den Einfluss von Spuren von Humusstoffen bzw. deren Modellsubstenzen auf das Pflanzenwachstum, *Land. Forsch.*, **8** p. 133-139, 1955.
(21) SAALBACK (E.). — Der Einfluss von Huminsäuren auf die Nährstoffaufnahme der Pflanzen, *Kali-Briefe,* **2**, Folge 3, 6 p., 1956.
(22) SAALBACK (E.). — Einfluss von Humusstoffen auf den Stoffwechsel der Pflanzen, *C. R. VI^eC ongr. Int. Sc. Sol,* Paris, Vol. D., p. 10-7-11, 1956.
(23) PROSOROWSKAJA (A. A.). — Influence de l'acide humique sur l'absorption de l'azote, du phosphore, du potassium et du fer par les plantes, *Travaux du Nantschnogo.* Instituta pro Urobroniam i Insektofungicidam, **127**, p. 143-161, 1936.
(24) KONONOWA (M. M.) et PANKOWA (N. A.). — *Travaux de l'Institut Dokutschajew,* **73**, p. 1069-1071, 1950.
(25) CHAMINADE (R.). — Action de l'acide humique sur le développement et la nutrition minérale des végétaux, *C. R. VIe Congr. Int. Sc. Sol,* Paris, vol. D., p. 443-448, 1956.
(26) CHAMINADE (R.) et BLANCHET (R.). — Action de l'humus colloïdal sur la nutrition minérale des végétaux, *C. R. Ac. Sc.*, 233, p. 1486-1488, 1951.
(27) CHAMINADE (R.). — Réactions de l'*Aspergillus niger* aux substances de croissance présentes dans la matière organique humifiée, *C. R. Ac. Sc.*, **239**, p. 1844-1846, 1954.
(28) CHAMINADE (R.). — Réaction de l'*Aspergillus niger* aux substances de croissance de l'humus, *Ann. Agro.*, **3**, p. 363-371, 1955.
(29) EPSTEIN (E.). — Mineral nutrition of plants, Mechanisms of uptake and transport, *Ann. Rev. of Plant Physiol.*, **7**, p. 1-24, 1956.
(30) GAUGH (H. G.). — Mineral nutrition of plants, *Ann. Rev. of Plant Physiol,* **8**, p. 31-64, 1957.
(31) ROBERTSON (R. N.). — Inorganic plant nutrients, *Ann. Rev. of Plant Physiol,* **2**, p. 1-24, 1951.
(32) BROYER (T. C.). — The nature of the process of inorganic solute Accumulation in Roots, in *Mineral Nutrition of Plants,* Univ. Wisconsin Press, p. 187-250, 1953.
(33) BLANCHET (R.). — Influence des colloïdes humiques sur différentes phases de l'absorption des éléments minéraux par les plantes. *C. R. Ac. Sc.*, **244**, p. 2418-2420, 1957.
(34) CHAMINADE (R.) et BLANCHET (R.). — Mécanisme de l'action stimulante de l'humus sur la nutrition minérale des végétaux, *C. R. Ac. Sc.*, **237**, p. 1768-1770, 1953.
(35) NIKLEWSKI (D.). — Influence des éléments colloïdaux sur la production végétale. *Ann. Agro.*, **3**, p. 337-345, 1931.

(36) CHRISTEWA (L. A.). — Participation d'acides humiques et d'autres substances organiques à la nutrition des plantes cultivées, *Pedology*, **10**, p. 46-59, 1953.
(37) CHRISTEWA (L. A.). — Rôle de l'acide humique dans la nutrition des plantes. Engrais humiques, *Travaux de l'Institut Dokutschajew*, **38**, p. 108-184, 1951.
(38) KONONOWA (M. M.). — Humus du sol et fertilité, *Priroda*, **12**, p. 21-29, 1955.
(39) KRISTOF (S.). — Effet des acides humiques du charbon sur la croissance et le développement des plantes en culture dans l'eau. *Zemljiste I Biljka*, **1**, p. 189, 1956.
(40) FLAIG (W.), OTTO (H.), KUSTER (E.), REINEMUND (K.). — Uber die Einwirkung von chemischen Verwandten von Huminsäurevorstufen auf das Längenwachstun von Wurseln, *Landbouwkundig Tidjschr*, **66**, p. 365-374, 1954.
(41) CHAMINADE (R.). — Influence de la matière organique humifiée sur l'efficacité de l'azote, *Ann. Agro.*, en cours d'impression.
(42) POMOT (J.) et LECAT (P.). — Mise au point d'une méthode rapide de détermination de la valeur humique réelle des amendements organiques. Calcul et mesure de cette valeur, *C. R. Ac. Agric.*, **12**, p. 494-499, 1954.
(43) POMOT (J.) et LECAT (P.). — Mise au point d'une méthode rapide de détermination de la valeur humique réelle des amendements organiques. Applications à l'étude de quelques produits humiques. *C. R. Ac. Agri.*, **8**, p. 379-382, 1955.
(44) FLAIG (W.). — Chinone als Modellsubstanzen von Huminsäurevorstufen, *Zeitsch. Pflanzenern., Düng, Bodenkunde*, **63**, p. 43-50, 1955.
(45) THOMAS (P.). — *Manuel de Biochimie*, Masson, Paris, p. 423-425, 1946.
(46) FLAIG (W.) und SAALBACH (E.). — Zur Kenntnis der Huminsäuren. XI Mitteilung. *Zeitsch. Pffanzenern. Düng. Bodenkunde*, **71**, p. 215-224, 1955.
(47) FLAIG (W.) und SAALBACH (E.). — Zur Kenntnis der Huminsäuren, X Mitteilung, *Zeitsch. Pflanzenern. Düng, Bodenkunde*, **71**, p. 208-215, 1955.
(48) FLAIG (W.), SCHARRER (K.) und SCHOLL (G.). — Zur Kenntnis der Huminsäuren, XV Mitteilung, *Zeitsch. Pflanzenern, Düng, Bodenkunde*, **76**, p. 193-200, 1957.
(49) FLAIG (W.), SCHARRER (K.) und SCHOLL (G.). — Zur Kenntnis der Huminsäuren, XVI, Mitteilung, *Zeitsch. Pffanzenern, Düng, Bodenkunde*, **76**, p. 201-209, 1957.
(50) FLAIG (W.) und REINEMUND (K.). — Zur Kenntnis der Huminsäuren,VI Mitteilung, *Zeitsch. Pffanzenern. Düng, Bodenkunde*, **68**, p. 255,-270, 1955.
(51) FLAIG (W.), SCHARRER (K.) und SCHOLL (G.). — Zur Kenntnis der Huminsäuren, XVII Mitteilung, *Zeitsch. Pffanzenern. Düng, Bodenkunde*, **76**, p. 210-212, 1957.
(52) SAALBACH (E.). — Der Einfluss der Tymohydrochinons als Modellsubstanz von Vorstufen bzw. Abbauprodukten von Huminsäuren auf die Keimung von Getreide, *Proceed Nat. Ac. Sc. India*, **24** (A II), p. 142-145, 1955.
(53) FLAIG (W.). — Zur Chemie der Huminsäuren und über die physiologische Wirkung von Modellsubstanzen von Huminsäurenvorstufen auf das Pflanzenwachstum, *Arzneim-Forsch*, **4**, p. 462-464, 1954.
(54) DE KOCK (P. C.). — Influence of humic acids on plant growth, *Science*, **121**, p. 473-474, 1955.
(55) DE KOCK (P. C.) and MITCHELL (R. L.). — Uptake of chelated metals by plants, *Soil Science*, **84**, p. 55-62, 1957.
(56) OLSEN (C.). — Compte rendu des *Travaux du Laboratoire de Carlsberg*, **18**, p. 1-6, 1930.

(57) CHAMINADE (R.). — Le potassium et la matière organique, *Potassium Symposium*, Institut International de la Potasse, Berne, p. 203-214, 1955.
(58) SANDOZ (R.). — Influence de l'aneurine (vitamine B_1) sur la croissance de certaines plantes, *Thèse Neuchâtel*, Soc. Genevoise d'éditions et impressions, 1945.
(59) BALDWIN (E.). — *Dynamic aspects of biochemistry*, Cambridge University Press, 544 p., 1952.
(60) CHAMINADE (R.) et BLANCHET (R.). — Action de l'humus sur la nutrition minérale des plantes, *Ann. Agro.*, **5**, p. 741-743, 1954.
(61) DEMOLON (A.). — *La dynamique du sol*, Dunod, Paris, 520 p., 1952.
(62) CHAMINADE (R.). — *Humus et Fertilité*, Conférences Centre Perfectionnement Technique, p. 17-23, 1945.
(63) BARBIER (G.). — Influence des colloïdes humiques sur certaines propriétés physiques et chimiques des terres argileuses, *Ann. Agro.*, **6**, p. 765-671, 1935.
(64) CHAMINADE (R.). — Les formes du phosphore dans le sol ; nature et rôle des complexes phospho-humiques, *Ann. Agro.*, **1**, p. 1-53, 1944.
(65) BARBIER (G.) et BOISCHOT (P.). — La fumure à la paille, *C. R. Ac. Agri.* **40**, p. 43-49, 1954.
(66) DEMOLON (A.). — *La Dynamique du sol*, Dunod, Paris, p. 473-474, 1952.
(67) POCHON (J.) et DE BARJAC (H.). — *Traité de Microbiologie des Sols*, Dunod, Paris, p. 72-100, 1958.
(68) HENIN (S.) et DUPUIS (J.). — Bilan de la matière organique des sols, *Ann. Agro.*, **1**, p. 17-30, 1945.
(69) LAGATU (H.) et MAUME (L.). — Démonstration, par le diagnostic foliaire de l'efficacité du fumier pour vaincre l'inhibition de la potasse. *C. R. Ac. Agri.*, **21**, p. 396-404, 1935.
(70) CHAMINADE (R.), SEGALEN (P.) et VISTELLE (R.). — Influence de l'humus sur l'évolution de l'acide phosphorique dans un sol latéritique, *Ann. Agro.*, **4**, p. 530-536, 1947.
(71) *Fumures minérales et organiques, progrès réalisables en Europe.* — Publication, O. E. C. E., Paris, 1954, 120 p.
(72) SYLVESTRE (G.). — Problème de l'enfouissement des pailles, *Bull. Tech. Inf. des I. S. A.*, **81**, p. 563-568, 1953.

PRÉPARATION ENZYMATIQUE DU GLUCOSE-6-PHOSPHATE A PARTIR DE L'AMIDON

PAR

H. BLACHÈRE, P. FERRY et M. OBATON (1)

Station centrale d'Agronomie, Versailles

La préparation de cet intermédiaire fondamental de la glycolyse a fait l'objet de nombreux travaux :

a) **Synthèses chimiques** à partir du 1-2-3-4 tétraacétyl β D glucose par phosphorylation (1, 2, 3,), on peut également partir du glucose, le phosphoryler à fond (4), puis procéder ensuite à l'hydrolyse par H Br à 100° — la liaison en C_6 résistant à ce traitement en partie, on peut ensuite précipiter le sel de Baryum de l'ester de Robison.

Ces méthodes sont assez laborieuses et de faible rendement.

b) **Synthèses enzymatiques** : elles se font à la température de 30°, sont donc moins brutales pour la chaîne carbonée, plus spécifiques et en général moins laborieuses.

Par fermentation du glucose avec un autolysat de levure, il se forme un mélange d'esters Phosphates dont on peut séparer le G-6-P (sous forme de sel de Baryum puis de Brucine) (5, 6, 7, 8, 9). Cette méthode est cependant difficile si l'on désire un produit exempt d'autres esters PO_4, de plus la quantité de G-6-P est faible à l'équilibre.

L'obtention de produit très pur est plus aisée si l'on part de l'ester phosphorique immédiatement voisin du glucose 6 PO_4 dans le métabolisme du glucose :

A partir du Fructose 6 phosphate, avec un extrait de muscle contenant l'hexose phosphate isomérase (10), en présence de Ba^{++}, l'équilibre F-6-P- $\rightleftarrows$ G.6.P est déplacé vers la droite par la précipitation du sel de Ba, 7 H_2O très peu soluble de l'ester de Robison ; dans ces conditions, 95 p. 100 de G-6-P est formé environ.

En partant du glucose 1 phosphate, en présence de phosphoglucomutase extraite du muscle (11) l'équilibre G-1-P $\rightleftarrows$ G-6-P s'établit à raison de 96 p. 100 de G-6-P. Ces deux dernières méthodes apparaissent comme les plus favorables, ce sont celles qui sont utilisées jusqu'à maintenant, elles nécessitent cependant la préparation préalable, soit du F-6-P (12) (lui-même obtenu à partir du F-16-P provenant de la phosphorylation du saccharose par la levure (13), soit du G-I-P par phosphorylation de l'amidon, donc toute une série de synthèses préliminaires (14, 15).

Le présent article décrit une méthode de préparation directe de l'ester de Robison à partir de l'amidon avec un bon rendement.

Principe de la méthode : En présence de phosphorylase (a) extraite des tubercules de pommes de terre, de phosphates minéraux et d'amidon, à pH 65,

(1) Avec la collaboration technique de Mᵉˡˡᵉ J. BOUREAU.

un équilibre s'établit dans le rapport 4 orthophosphate/1, glucose-1-phosphate (6). Si à un tel système enzymatique, on ajoute de la phosphoglucomutase musculaire, un nouvel équilibre s'ajoute au précédent, suivant l'équation :

$$\underset{5\ \%}{G-1-P} \rightleftarrows \underset{95\ \%}{G-6-P}$$

si bien que l'amidon est progressivement transformé en G-6-P.

L'ester de Robison est finalement récolté et purifié sur résine échangeuse d'ions puis cristallisé sous forme de sel de Barium 7, H_2O.

La phosphoglucomutase du muscle ne fonctionne qu'en présence d'activateurs tels que la cystéine ou l'histidine et elle est activée considérablement par les ions Mg^{++} (16, 17). La présence de ces corps ne gêne pas en principe l'activité de la phosphorylase, cependant l'incubation devant se faire pendant 72 heures à 30°, une intense prolifération microbienne se produit alors et rend la préparation impossible.

Pour pallier cette difficulté, on a utilisé la 8 hydroxyquinoléine antiseptique très puissant qui peut jouer le même rôle d'activateur que la cystéine vis-à-vis de la phosphoglucomutase, sans gêner la phosphorylase.

On a choisi d'opérer au pH de 6,7 qui permet une bonne activité des deux systèmes enzymatiques.

Préparation des extraits enzymatiques.

a) **Phosphorylase.** Peler et peser 50 g de pomme de terre — Extraire le jus en broyant au mixer ou avec une rapeuse essoreuse — Centrifuger à 20 000 g environ 15 minutes sans dépasser 30 degrés. On doit recueillir environ 25 ml de jus ambré. Cette préparation ne se conserve pas et doit être faite au moment de l'emploi.

b) **Phosphoglucomutase.** Un cobaye est sacrifié par 3 injections intrapéritonéales de SO_4 Mg, 7 H_2O à 51 p. 100 de 1 ml, 0,5 ml, et 0,5 ml à 10 minutes d'intervalle (18), pour éviter l'introduction de narcotique gênant les enzymes. L'animal s'endort sans agitation. Dès que le cœur cesse de battre, enlever la peau et les viscères, exciser la chair musculaire, la passer dans un hachoir à viande et extraire 2 fois 20 minutes avec 1 volume d'eau distillée glacée. Filtrer sur Büchner. Chauffer dans un bain-marie à 90° en agitant constamment jusqu'à ce que la température atteigne 65°. Refroidir jusqu'à 4° dans un bain de glace et sel et filtrer le précipité de protéines inactives. Une purification plus poussée n'est pas nécessaire pour cette synthèse.

On obtient ainsi environ 400 ml d'extrait ayant une activité de 0,4 unités P G M/ml (pouvant servir à plusieurs synthèses et se conservant 1 à 2 mois à -25° (19)).

Mode opératoire.

Phosphorylation. Dans un bécher de 1 litre, placer 30 g d'amidon soluble, les délayer avec 300 ml d'eau distillée froide. Porter à l'ébullition en agitant jusqu'à dissolution complète. Eloigner du feu et ajouter 150 mg de 8-hydroxygninoléine pour analyse, puis encore 150 ml d'eau distillée froide — agiter.

— Ajouter 0,12 g de sulfate de Magnésium 7 H_2O pour analyse.

— Refroidir vers 50-60° et dissoudre 27 g de PO_4 Na_2 H, 12 H_2O pur et 10 g de PO_4 K H_2 pur.

Refroidir à 37° avant d'ajouter les extraits enzymatiques, soit 25 ml d'extrait de phosphorylase de pomme de terre et 25 ml de phosphoglucomutase musculaire. Placer dans un Erlenmeyer à l'étuve à 37° et rajouter 3 fois à 24 heures d'intervalle 25 ml de chacun des extraits enzymatiques.

Dosage. L'évolution de la réaction peut être suivie par dosage du P minéral, du G-1-P et du G-6-P. L'étude chromatographique nous a montré que pratiquement ces deux esters représentent la totalité du phosphore organique présent. Il suffit donc après précipitation des PO_4 sur une prise d'essai de 1 ml avec la mixture magnésienne de doser le phosphore 3 minutes hydrolysable et le phosphore libéré par minéralisation pour connaître les quantités d'esters phosphoriques présents. Une mesure spécifique peut cependant être obtenue en présence de glucose 6 phosphate deshydragénase et de T P N et photométrie dans l'ultraviolet à 340 mμ (20, 21).

Coagulation des protéines et précipitation de l'orthophosphate. Porter rapidement la fiole à 95°, puis refroidir dans l'eau, ajouter 5 p. 100 de terre d'infusoire lavée et filtrer sur Büchner.

— sous agitation mécanique, ajouter 33 g d'acétate de magnésium pur, puis ajuster le pH à 8,5 avec NH_4OH diluée au demi.

— filtrer sur Büchner.

Isolement du glucose 6 phosphate sur résine échangeuse d'ions. Désioniser le filtrat sur une colonie de résine cationique (une colonne de permutite 50 de 30 cm de long et 8 cm² de section a été utilisée) et recevoir l'effluent sur une colonne de résine anionique Amberlite IR 45 sous forme OH de 1,7 cm² de section sur 30 cm de hauteur.

Dans ces conditions, le glucose 6 phosphate est retenu sur la colonne. Laver abondamment à l'eau distillée pour éliminer l'amidon et l'acide acétique et éluer le glucose 6 phosphate avec K O H à 5 p. 100 en recueillant l'effluent jusqu'à pH 9.

Précipitation du sel de Baryum. — Ajuster l'effluent à pH 8,5. Ajouter en agitant 40 g d'acétate de Baryum pur dissout dans 150 ml d'eau distillée, vérifier que le pH n'a pas varié, sinon l'ajuster à nouveau à 8,5. Ajouter quelques cristaux de glucose 6 phosphate sel de Baryum et laisser cristalliser 24 h à la glacière sous agitation.

Filtrer sur Büchner, laver à l'eau glacée et sécher en dessiccateur à $CaCl_2$.

Rendement 25 grammes de sel cristallisé ayant une pureté de 98 p. 100 à la microanalyse.

RÉSUMÉ

Une méthode de préparation enzymatique du glucose 6 phosphate à partir de l'amidon est décrite.

La phosphorylation est faite au moyen d'extraits de pomme de terre et de muscle contenant la phosphorylase et la phosphoglucomutase.

La purification par échange d'ions et précipitation du sel de Baryum permet d'obtenir 25 g de produit de pureté 98 p. 100 à partir de 30 g d'amidon.

SUMMARY

An enzymatic method of preparation of glucose-6-phosphate from starch is described.

The phosphorylation is done with potato extracts and muscles containing phosphorylase and phosphoglucomutase.

By purification by means of ion exchange and precipitation of barium salt, 25 grams of product of 98 per cent purity is obtained from 30 grams of starch.

ZUSAMMENFASSUNG

Eine enzymatische Bereitungsmethode von Glukose-6-Phosphat mit Stärke wird beschrieben.

Die Phosphorylierung wird mittels Kartoffel — und Muskelextrakte die die Phosphorylase und die Phosphoglucomutase enthalten, durchgeführt.

Die Reinigung durch Ionenaustauscher und Fällung des Bariumsalzes macht es möglich ab 30 g Stärke 25 g des Produktes mit einem Reinheits grad von 98 p. 100 herzustellen.

Приготовление из крахмала энзиматическим путем glucose-6-phosphate.

БЛАШЕР, ФЕРРИ и ОБАТОН.
Версальская Центральная Агрономическая станция.

РЕЗЮМЕ

Изложен метод энзиматического приготовления из амидона « glucose-6-phosphate ».

Получение делается из экстрактов картофеля и мускула, содержащего фосфорилаз и фосфоглюкомитаз.

Очищение обменом ионов и осаждением соли бария позволяет получить из 30 г амидона 25 г продукта чистотой в 98 %.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) FISCHER (E.). — *Ber*, **49**, 584, 1916.
(2) HELFERICH (B.). — *V Klein Ann. Chem.*, **450**, 219, 1926.
(3) LARDY (H. A.), FISCHER (H. O. L.). — *J. Biol. Chem.*, **164**, 513, 1946.
(4) SEEGMILLER (J. E.), HORECKER (B. L.). — *J. Biol. Chem.*, **192**, 175, 1951.
(5) ROBISON (R.), KING (E. J.). — *Biochem J.*, **25**, 323, 1931.
(6) ROBISON (R.). — *Biochem. J.*, **26**, 2191, 1932.
(7) ROBISON (R.), MORGAN (W. I.). — *Biochem.*, J **24**, 119, 1930.
(8) WARBURG (O.), CHRISTIAN (W.). — *Biochem. Z.*, **254**, 438, 1932.
(9) HAAS (E.), HORECKER (B. L.), HOGNESS (T. R.). — *J. Biol. Chem.*, **136**, 747, 1940.
(10) HORECKER (B. L.), WOOD (W. A.). — *Methods in enzymology*, III, 152.
(11) COLOWICK (S. P.) et SUTHERLAND (E. W.). — *J. Biol. Chem.*, **144**, 423, 1942.
(12) NEUBEEG (C.), LUSTIG (H.) and ROTHENBERG (M. A.). — *Arch. Biochem.*, **3**, 33, 1943.
(13) NEUBERG (C.), LUSTIG (H.). — *J. Am. Chem. Soc*, **64**, 2722, 1942.
(14) MC CREADY (R. M.), HASSID (W. Z.). — *Biochem. Preparations* **4**, 63, 1955.
(15) KRAHL (M. E.), CORI (C. F.). — *Biochem. Preparations*, **1**, 33, 1949.
(16) SUTHERLAND (E. W.). — *J. Biol. Chem.*, **180**, 1279, 1949.
(17) CORI (G. T.), COLOWICK (S. P.) et CORI (C. F.). — *J. Biol. Chem.*, **124**, 543, 1938.
(18) DUBOIS (K. P.), ALBAUM (H. G.), POTTER (V. E.). — *J. Biol. Chem.*, **147**, 699, 1943.
(19) NASSAR (V. A.). — *J. Biol. Chem.*, **175**, 281, 1948.
(20) KORNBERG (A.). — *J. Biol. Chem*, **182**, 805, 1950.
(21) HORECKER (B. L.), KORNBERG (A.). — *J. Biol. Chem.*, **175**, 385, 1948.

UN APPAREIL POUR LE TAMISAGE DE LA TERRE SOUS L'EAU

PAR

A. FEODOROFF

Laboratoire des Sols, Versailles.

I. — INTRODUCTION

La méthode d'évaluation de la stabilité structurale, mise au point par le Laboratoire des Sols de l'I. N. R. A., comporte deux tests : un test de percolation et un test d'instabilité des agrégats (indice S). Le calcul de l'indice S exige plusieurs déterminations : mesure du pourcentage d'agrégats stables à l'eau, après des prétraitements à l'alcool, au benzène et à l'air, mesure du taux d'éléments fins dispersés, détermination du taux de sables grossiers dans les agrégats.

Le taux des agrégats stables se mesure après tamisage de la terre dans l'eau. Un tamisage est toujours une opération délicate, car le résultat dépend de la position des particules dans les mailles du tamis et, par conséquent, du mouvement qu'on imprime à ce dernier. Mais quand il s'agit de tamiser des agrégats, il y a également une destruction de ces agrégats par les chocs qu'ils subissent contre les parois du tamis et leur usure sur la toile.

On a donc été amené à imaginer un appareil pour effectuer l'opération. On a cherché à éliminer ainsi les variations qui peuvent intervenir lorsque le tamisage est fait à la main par des manipulateurs différents s'ils n'ont pas suffisamment d'entraînement.

La mise au point de l'appareil de tamisage a pour buts : d'obtenir des résultats d'une part reproductibles, en se tenant dans les limites d'erreurs admises précédemment pour le tamisage des agrégats et, d'autre part, en bonne concordance avec des résultats antérieurs qui ont déjà fait l'objet d'interprétation et où le tamisage des agrégats a été fait à la main par des manipulateurs expérimentés du Laboratoire des Sols.

II. — PRINCIPE ET DESCRIPTION DE L'APPAREIL

L'appareil produit un mouvement hélicoïdal analogue à celui qu'on imprime au tamis lors du tamisage à la main. En fait, il s'agit de deux mouvements qui se superposent : un mouvement de rotation, en va-et-vient autour de l'axe vertical du tamis, destiné à répartir les agrégats sur la toile et un mouvement en va-et-vient vertical destiné à faire passer les agrégats à travers les mailles du tamis. L'ensemble du mouvement se fait dans l'eau.

a) **Description schématique de l'appareil.**

Le mouvement de rotation est donné par un arbre vertical portant une rainure hélicoïdale et coulissant dans deux orifices-guides. Une butée fixée dans un des orifices-guides s'insère dans la rainure de l'arbre. Lorsque l'arbre monte ou descend, la butée et la rainure hélicoïdale lui impriment un mouvement de rotation autour de son axe vertical. Le mouvement vertical est produit par un excentrique tournant dans un plan vertical et situé au-dessus de l'arbre. Ce mouvement est transmis à l'arbre par une bielle. Le tamis se fixe à la partie inférieure de l'arbre. L'ensemble est entraîné par une manivelle.

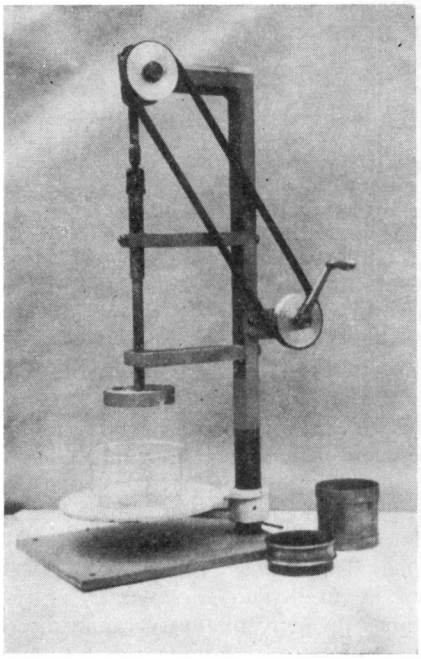


FIG. 1.

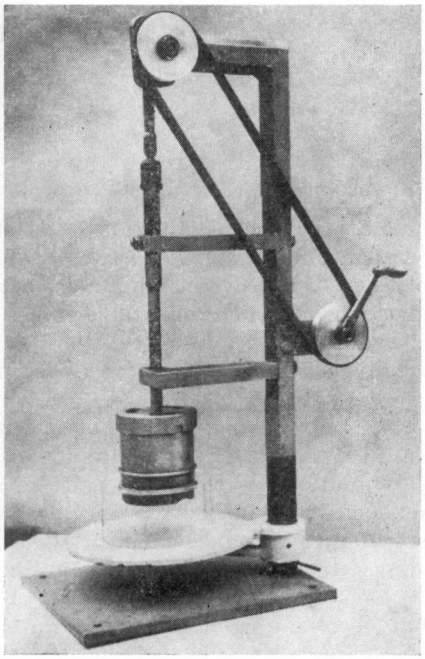


FIG. 2.

FIG. 1. — Les différentes parties de l'appareil à tamiser.
Le bâti, le tamis et sa rallonge, le plateau avec le cristallisoir.
FIG. 2. — L'appareil en position de fonctionnement.

Sur le dispositif expérimental l'amplitude du mouvement vertical de l'arbre et du tamis peut aller jusqu'à 8 cm. Comme la rotation de l'arbre est proportionnelle au mouvement vertical on pouvait la faire varier de 0 à 360°.

b) **Mise en place des échantillons de terre.**

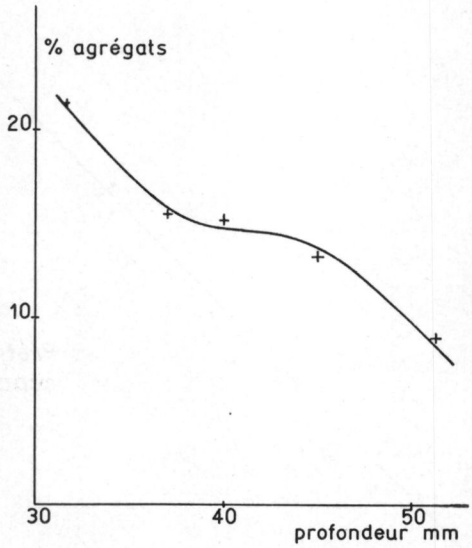
Le tamis muni d'une rallonge est placé dans un cristallisoir. On y verse l'échantillon de terre prétraité. Les bulles d'air emprisonnées sous la toile sont chassées en faisant subir au tamis de petits chocs contre le fond du cristallisoir. L'eau est amenée à un niveau tel que la toile affleure quand le tamis est au point mort haut du mouvement. Le tamis est ensuite fixé à l'extrémité inférieure de l'arbre et on met en mouvement à l'aide de la manivelle (fig 1 et 2).

III. — CHOIX DES NORMES DE FONCTIONNEMENT

Dans le choix des normes de fonctionnement, il faut définir la profondeur de plongée du tamis dans l'eau, la vitesse du tamisage et le nombre de coups de tamis (1).

a) Profondeur de plongée et rotation du tamis.

Dans la conception de l'appareil expérimental, ces deux grandeurs sont liées et directement proportionnelles. On les a donc fait varier simultanément en fixant par ailleurs toutes les autres conditions (vitesse, nombre de coups). Les essais ont été effectués sur des échantillons d'horizon B de Versailles,



GRAPHIQUE 1. — Influence de la profondeur de plongée sur le tamisage.

prétraités à l'alcool. Si la profondeur de plongée croît de 30 mm à 50 mm, le taux d'agrégats décroît d'abord rapidement, puis la décroissance est plus lente lorsque la profondeur de plongée varie autour de 40 mm et de nouveau le taux d'agrégats décroît rapidement lorsque la profondeur de plongée dépasse 45 mm. Si on porte en abscisse la profondeur de plongée et en ordonnée le taux d'agrégats, on obtient une courbe en S couché. Pour qu'une petite variation accidentelle de la profondeur de plongée affecte le moins possible le taux d'agrégats, il convient de travailler avec une profondeur de plongée de 40 mm et une rotation de 180°, c'est-à-dire dans la partie médiane de la courbe. (cf. graphique I).

b) Vitesse du tamisage.

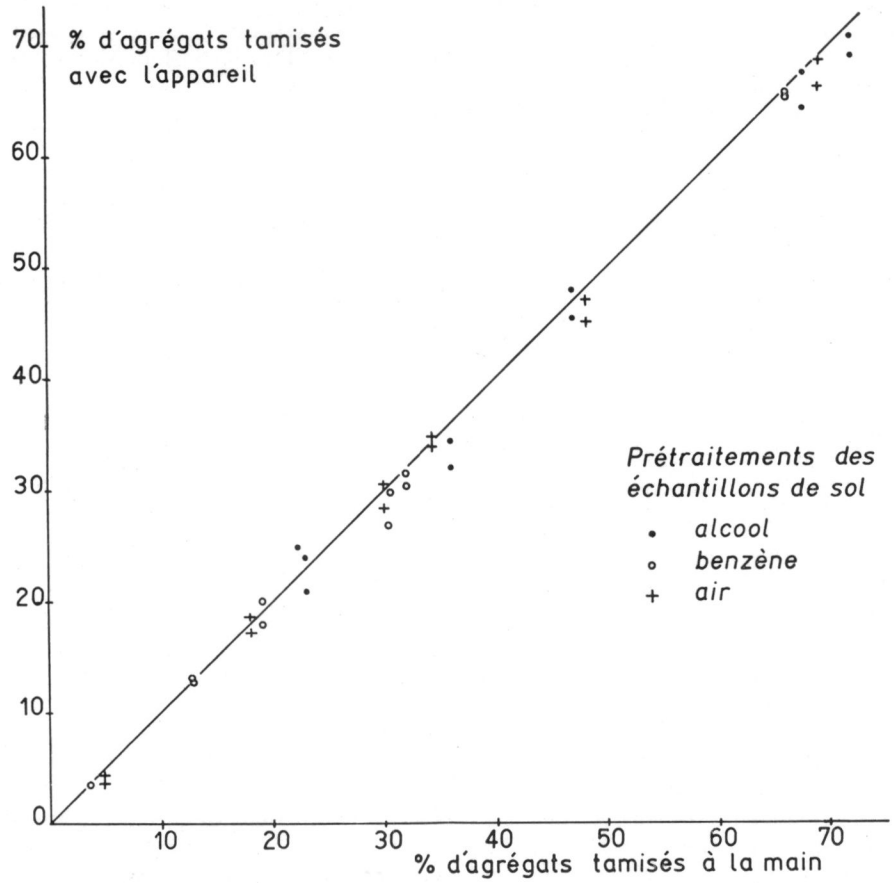
L'intensité du tamisage semble varier en fonction inverse de la vitesse sans qu'on puisse définir exactement cette fonction. On a donc retenu la

(1) Par un coup de tamis on entend un mouvement de va-et-vient de bas en haut, puis de haut en bas.

vitesse de 1 coup de tamis par seconde, car elle est facile à contrôler par le manipulateur et ne provoque pas de remous dans le cristallisoir.

c) **Nombre de coups**

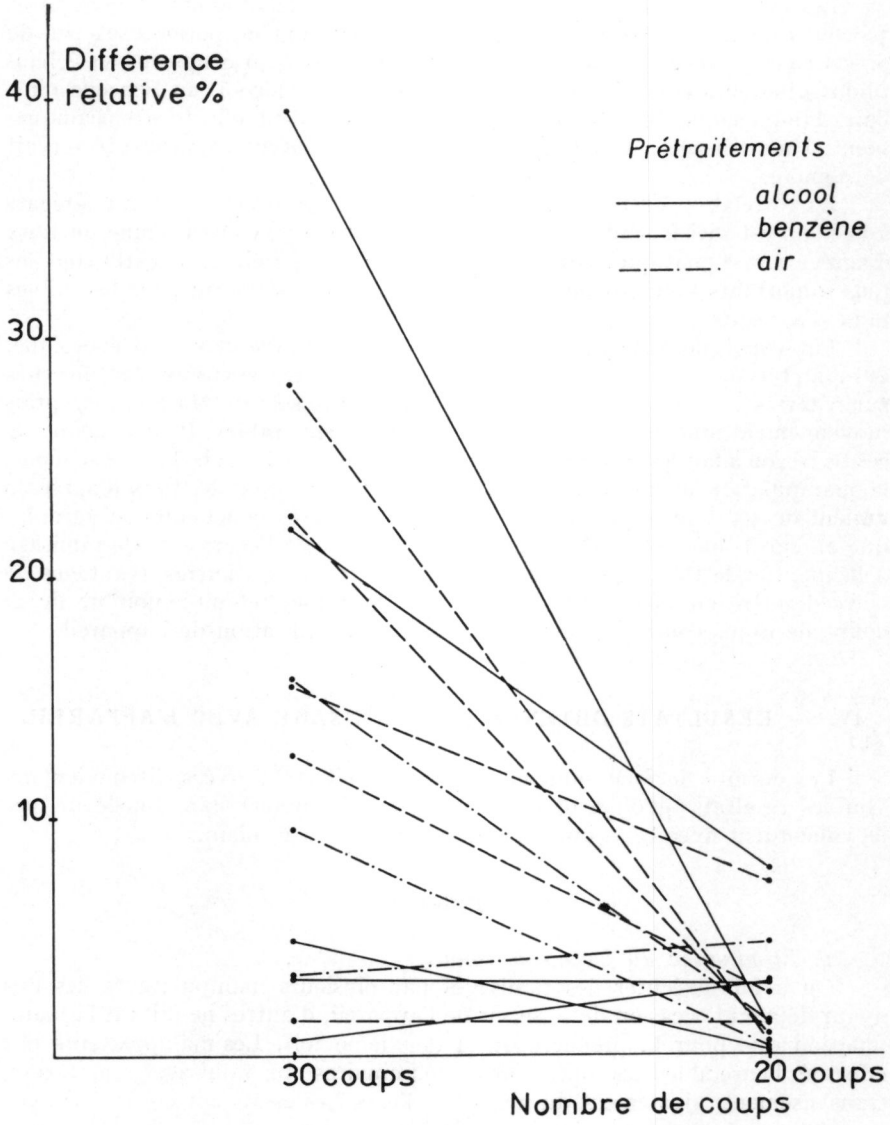
Comme matériel d'essai on a utilisé d'une part l'horizon B de Versailles qui a déjà servi à mettre au point la méthode de tamisage à la main, d'autre part des terres aussi différentes que possible. L'horizon B présente l'intérêt



GRAPHIQUE 2. — Agrégats. Concordance entre tamisages avec l'appareil et à la main.

de pouvoir se trouver en grande quantité, mais les différents lots sont parfois assez dissemblables. C'est pourquoi a on choisi également des échantillons variés de stabilité structurale différente, de façon à avoir une gamme allant de 3 à 75 p. 100 d'agrégats et de plus ces agrégats sont très pauvres en sable grossier, ce qui a permis d'étalonner la méthode sur le matériel le plus sensible. Il est probable en effet qu'une méthode mise au point sur un tel matériel, sera a fortiori utilisable pour des sols présentant moins de difficulté, en particulier ceux dont les particules sont constituées par une fraction importante

de sable grossier. Si, en opérant sur de l'horizon B, on fait varier le nombre de coups de 15 à 50, on constate que le taux d'agrégats restant sur le tamis décroît au fur et à mesure que le nombre de coups augmente. La décroissance



GRAPHIQUE 3. — Comparaison du tamisage avec l'appareil et à la main. Essais à 30 et 20 coups de manivelle. Différence relative du taux d'agrégats.

est rapide au début puis, lorsque le nombre de coups augmente, elle devient plus faible. Tout se passe comme si, le nombre de coups de tamis allant en augmentant, le taux des agrégats tend vers une valeur asymptotique. Un résultat analogue avait déjà été obtenu lors de l'étude du tamisage à la main.

Pour se trouver dans les meilleures conditions du tamisage, il convient de choisir un nombre de coups tel que l'on soit le plus près de la valeur asymptotique : dans ce cas une petite variation du nombre de coups n'entraîne pas une variation sensible du taux des agrégats.

Les essais avec l'horizon B ont montré qu'il fallait donner entre 30 et 50 coups de tamis, l'hétérogénéité de cet échantillon ne permettant pas de préciser cette valeur. On a donc fait des tamisages à 30 coups sur 54 échantillons différents comportant des prétraitements à l'alcool, au benzène ou à l'air. Pour chaque échantillon, deux tamisages étaient effectués mécaniquement. Un tamisage à la main fait par un manipulateur expérimenté servait de témoin.

La corrélation entre le taux d'agrégats à l'appareil et le taux d'agrégats à la main est satisfaisante. Néanmoins, le tamisage à la main donne un taux d'agrégats systématiquement plus fort qu'avec l'appareil. Les écarts sont les plus importants pour les terres les moins stables c'est-à-dire pour les faibles taux d'agrégats.

Par conséquent, le tamisage à 30 coups se trouve être trop énergique, et on a procédé à des essais avec 20 coups de tamis. Ces essais ont été effectués sur 6 terres : deux sols de rendzine stables, deux sols de Marais Charentais moyennement stables, deux sous-sols de limon peu stables. Pour chacune de ces terres, on a fait les trois prétraitements : alcool, benzène, air. Par conséquent, la manipulation a été effectuée sur 18 échantillons dont les taux d'agrégats varient de 3,5 à 72 p. 100. Ces essais se sont montrés concluants (cf. graphique 2), car ils ont permis de réduire considérablement l'écart entre le tamisage à la main et le tamisage à l'appareil en maintenant les autres avantages de cette dernière méthode (cf. graphique 3). On a donc retenu le nombre de 20 coups de tamis comme permettant la meilleure utilisation de l'appareil.

IV. — RÉSULTATS OBTENUS PAR TAMISAGE AVEC L'APPAREIL

Les normes de fonctionnement de l'appareil étant fixées, il convient de voir les résultats qu'on peut en attendre et d'examiner dans quelle mesure ils concordent avec ceux obtenus antérieurement à la main.

a) **Efficacité.**

1) *Elimination du facteur personnel.*

On a fait exécuter des tamisages par plusieurs manipulateurs, les uns ayant déjà eu l'occasion de se servir de l'appareil, d'autres ne faisant la manipulation que pour la première ou la deuxième fois. Les manipulateurs ont effectué l'ensemble des opérations préliminaires au tamisage : agitation, transvasement, ajustement du niveau de l'eau. Les essais ont été réalisé avec un sol ne contenant que 18 p. 100 de sable grossier.

	Pourcentage d'agrégats (%)
Opérateur expérimenté	34,1
Opérateur expérimenté	34,8
Opérateur moyennement expérimenté	34,4
Opérateur peu expérimenté	35,0
Opérateur inexpérimenté	32,4

Les résultats sont donc bien groupés, indépendamment de l'expérience respective des divers opérateurs. L'écart entre les extrêmes est de 2,6 p. 100 et l'erreur relative maximum, rapportée à la moyenne (34,1) est 7,5 p. 100. Cette dernière valeur intègre les erreurs qui peuvent être faites aussi bien au cours de tamisage à proprement parler qu'à l'occasion des opérations préliminaires. D'autres résultats confirment cette constatation. On peut donc estimer que le tamisage à l'appareil permet d'éliminer suffisamment le facteur personnel et de rendre le tamisage reproductible d'un manipulateur à un autre.

2) *Reproductibilité (pour un même opérateur) des résultats.*

Tous les essais ayant été faits en double, on a trouvé la répartition suivante des erreurs relatives calculées par rapport à la moyenne des deux résultats.

	Erreur relative %		
	0-5	5-10	10-15
Nombre d'échantillons	12	4	2

Sachant que se sont des terres choisies pour leur difficulté, on peut admettre que dans le cas général l'erreur relative ne doit pas dépasser 5 p. 100, sur le taux des agrégats de chaque prétraitement.

Cependant, dans le calcul de l'indice d'instabilité S, on fait intervenir la moyenne des agrégats obtenus, pour une même terre, avec les prétraitements à l'alcool, au benzène et à l'air. Il convient par conséquent d'apprécier l'erreur qu'on peut commettre sur la moyenne des agrégats. Pour les 6 terres utilisées, les erreurs relatives sur la moyenne des agrégats sont les suivantes :

	Erreur relative sur la moyenne des agrégats
Deux terres stables	2,2 et 5,5 %
Deux terres moyennement stables	3,5 et 6,5 %
Deux terres peu stables	5,6 et 11,0 %

On peut admettre que dans le cas le plus général et pour un ensemble de terres très variées, l'erreur relative sur la moyenne des agrégats tamisés à l'aide de l'appareil ne doit pas dépasser 7 p. 100. Toutefois pour certaines terres instables, qui se délitent dans l'eau, il est possible que l'incertitude soit plus élevée.

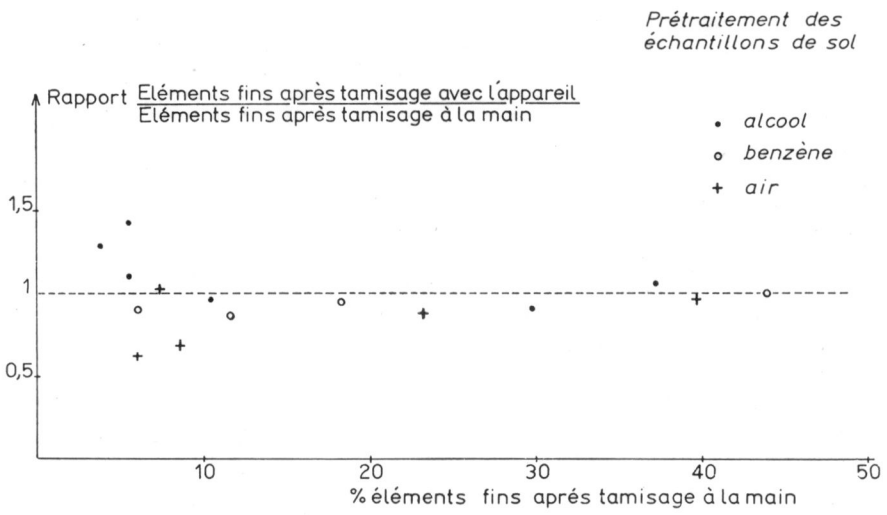
b) **Concordance entre les tamisages à l'appareil et à la main.**

En ce qui concerne le taux d'agrégats lui-même, on aboutit, en tamisant avec l'appareil, à une bonne corrélation avec les résultats obtenus à la main. On peut calculer la différence entre les 2 méthodes, en prenant pour chaque essai le taux d'agrégats à la main comme référence.

	Différence relative sur un essai %		
	0-5	5-10	10-15
Nombre d'essais	14	2	2

On peut également calculer la différence lorsque l'on prend les trois prétraitements d'une même terre. Pour les terres aussi variées que celles qui ont été étudiées, cette différence relative entre la moyenne des agrégats ne dépasse pas 5 p. 100.

Par ailleurs, on aurait pu penser que le fait de tamiser les agrégats avec un appareil a une répercussion sur le taux des éléments fins, argile + limon, qui intervient dans le calcul de l'indice d'instabilité. En effet, dans les conditions mêmes de l'emploi de l'appareil le tamisage a lieu dans un volume d'eau plus grand qu'à la main et le séjour de la terre dans l'eau est un peu plus long. Après étude sur les 18 échantillons précités, il apparaît que l'emploi de l'appareil ne conduit ni à une destruction plus forte des agrégats ni à une dispersion plus importante en éléments fins que le tamisage à la main. En effet, les



GRAPHIQUE 4. — Éléments fins dispersés. Concordance entre tamisages avec l'appareil et à la main.

variations que l'on observe (cf. graphique 4) entre le tamisage à l'appareil et à la main ne sont pas systématiquement dans un sens.

Enfin, l'utilisation de l'appareil ne modifie pas la composition des agrégats, en particulier le taux de sables grossiers.

VI. — CONCLUSIONS

On a étudié la possibilité d'effectuer mécaniquement le tamisage des agrégats sous l'eau qui intervient dans la méthode de détermination de la stabilité structurale.

L'appareil reproduit le mouvement hélicoïdal qui est communiqué au tamis lors du tamisage à la main. Les conditions de fonctionnement de cet appareil sont ainsi définies :

1° Tamis à mailles carrées de 0,2 mm d'ouverture — diamètre du tamis : 10 cm.

2° Profondeur de plongée du tamis dans l'eau : 40 mm.

3° Rotation du tamis autour de son axe : 180°.

4° Affleurement de la toile du tamis au point mort haut du mouvement.

5° Nombre de coups (mouvements de va-et-vient revenant au point d'origine) : 20.

6° Vitesse : 1 coup de tamis (va-et-vient) par seconde.

En respectant ces normes de fonctionnement l'usage de l'appareil permet d'obtenir aisément un bon tamisage des agrégats par n'importe quel manipulateur. Les déterminations réalisées à l'aide de cette méthode sont en bonne corrélation avec celles effectuées par tamisage à la main et qui ont servi à mettre au point la méthode d'évaluation de la stabilité structurale.

RÉSUMÉ

Un appareil pour le tamisage de la terre sous l'eau.

La méthode d'évaluation de la stabilité structurale, mise au point par le laboratoire des sols de Versailles, comporte un tamisage sous l'eau des agrégats. Un appareil de construction simple permet de réaliser cette manipulation. Les résultats ainsi obtenus sont en bonne concordance avec ceux qui ont servi à l'établissement de la méthode générale. Par ailleurs, l'usage de l'appareil élimine les variations dues à la personne du manipulateur et permet d'obtenir des pourcentages d'agrégats comparables.

SUMMARY

An apparatus for the wet sieving of soil.

The method of evaluation of structural stability, developed in the soil laboratory at Versailles, consists of the wet sieving of aggregates by means of a simple apparatus. The results obtained agree well with those which served for the introduction of the general method. The use of the apparatus eliminates variations due to personal factors in the manipulation and yields comparable values of aggregate percentage.

Аппарат для мокрого просеивания почвы.

А. Н. ФЕДОРОВ.
Почвенная Лаборатория. Версаль.

РЕЗЮМЕ

Метод оценки прочности структуры, разработаный Почвенной Лабораторией Версаля, требует мокрого просеивания агрегатов. Аппарат несложной конструкции позволяет производить это просеивание. Полученные таким образом результаты находятся в полном соответствии с теми, на которых был основан общий метод, к тому-же применение аппарата позволяет избегнуть вариации связанные с личностью лаборанта и достичь сравнимых процентов агрегатов.

ZUSAMMENFASSUNG

Ein Apparat für das Sieben des Bodens im Wasser.

Die im Laboratorium für Böden in Versailles ausgearbeitete Methode zur Bestimmung der Strukturbeständigkeit, benötigt ein Sieben der Krümel im Wasser. Dies kann mit einem Apparat von einfacher Ausführung gemacht werden. Die mit diesem Apparat gewonnenen Ergebnisse stimmen überein mit

denen die zur Ausarbeitung der Methoden verwendet wurden. Andererseits, werden durch die Anwendung dieses Apparates die Schwankungen die von dem Laborant abhängen, ausgeschaltet, sodass vergleichbare Krümelprozentsätze erhalten werden können.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

HÉNIN (S.), MONNIER (G.), COMBEAU (A.). — Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols An. Agr. I, 71-90, 1958.

DOCUMENTATION

I. — MÉTHODES ET TECHNIQUES

D. — Divers

PETRUCCIOLI (G.). — **Utilisation des rayons infra-rouges pour la détermination de l'humidité au laboratoire.** (L'impiego dei raggi infrarossi in laboratorio per la determinazione dell'imidita). *Annal. d. Sperimentaz. Agr.*, XII, 3, 905-911.

D'après les résultats de l'auteur, la détermination de l'humidité par les rayons infra-rouges est plus rapide que la méthode par pesée et donne des résultats comparables.

S. M.

II. — SOLS

A. — Propriétés physiques et mécaniques.

DEL GAUDIO (S.). — **Expérimentation de l'action d'un conditionneur sur la structure d'un sol argileux.** (Esperienze con un condizionatore della struttura su un terreno argiloso). *Annal. d. Sperimentaz. Agr.*, XII, 3, 757-777.

Le Krilium a été expérimenté en pots sur un sol argileux calcaire avec culture de blé et d'avoine.

L'auteur a constaté que le Krilium améliorait la structure du sol et provoquait un développement de la végétation et une élévation du rendement.

S. M.

B. — Propriétés chimiques et physicochimiques.

TALIBUDEEN (O.). — **Isotopically exchangeable phosphorus in soils.** III. The fractionation of soil phosphorus. *J. Soil. Sc.* 1958, 9, p. 120-129.

D'après les résultats des échanges isotopiques, l'auteur subdivise en trois fractions les phosphates du sol :

a) P isotopiquement diluable en 24 heures.

b) P isotopiquement diluable en 150 heures (voisin de P isotopiquement diluable total).

c) P non isotopiquement diluable.

Le P isotopiquement diluable total (fraction b) représente 10 à 40 p. 100 du P total des sols ; cette proportion est la plus élevée pour les sols légers. Le rapport P^{31}/P^{32} varie entre 0,5 et 1 ; les valeurs les plus fortes sont également observées dans les sols légers. Des apports récents de superphosphates élèvent

d'autre part ce rapport, les ions PO^4 apportés par les engrais étant susceptibles de s'échanger rapidement contre les ions $^{32}PO^4$. Cette faculté s'atténue en quelques mois.

Dans un sol non calcaire, tout le P apporté par des engrais a été retrouvé au bout de 3 mois, sous forme isotopiquement diluable. La proportion n'atteint que 65 à 80 p. 100 dans des sols légèrement calcaires ; une redistribution des ions PO^4 semble s'effectuer durant ce temps.

R. B.

GATTORIA (G.) et PALLOTTA (U.).— **Etude physico-chimique des sols du bassin de Fucino.** (Studio chimico-agrario dei terreni dell'alveo del fucino) *Annal. d. Sperimentaz. Agr.*, XII, 1, 179-207.

Cette étude a comporté l'analyse physico-chimique de 134 échantillons de sols et 26 de sous-sols.

Ces sols ne peuvent être assimilés aux tchernozems environnants, car ils ont été soumis à un état de submersion lacustre jusqu'au siècle dernier.

Les caractères les plus marquants sont :

— la teneur en calcaire voisine de 60 p. 100 et qui peut atteindre 80 et même 96,2 p. 100 ;

— le limon calcaire associé parfois au sable ou à l'argile.

La plupart des sols sont des limons à 20-30 p. 100 d'argile. Le calcaire actif est de l'ordre de 25 p. 100. Le taux d'humus et d'azote varie avec la texture Le rapport C/N est compris entre 5 et 7,3, traduisant la combustion active de la matière organique.

La teneur en acide phosphorique et potasse est en relation avec la texture. La capacité de production de l'ensemble de ces sols est bonne, mais en général un effort important est à faire pour la fertilisation.

S. M.

D. — Rapport avec les cultures.

SCOTT RUSSELL (R.), RUSSELL (E. W.) and MARAIS (P. G.). — **Factors affecting the ability of plants to absorb phosphate from soil II. A comparison of the ability of different species to absorb labile soil phosphate.** *J. of Soil Sc.*, 1958, 9, p. 101-108.

Dans diflérents sols, les auteurs ont mesuré les valeurs Larsen (P isotopiquement diluable d'après l'absorption des plantes) à l'aide de trois espèces : riz, chou et orge. Pour certains sols riches en P isotopiquement diluable, les valeurs Larsen trouvées avec le riz et le chou sont plus élevées que celles obtenues avec l'orge. La différence ne provient pas d'une mauvaise homogénéisation du ^{32}P. Elle serait due à ce que le riz et le chou sont susceptibles de s'alimenter à partir d'ions PO^4 de « bas potentiel », alors que l'orge en serait incapable. Cette conclusion est appuyée par des essais effectués en solutions nutritives de concentrations variables.

R. B.

F. — Pédologie-cartographie.

PERETTI (L.). — **La région Savonèse.** (Il Savonese). *Annal. d. Sperimentaz. Agr.*, XII, 2, Supplemento p. XLV à LXXIII.

Dans cette région, deux zones alpines ont une grande extension ; l'auteur les décrit et étudie la granulométrie, la composition minéralogique des sols.

S. M.

BOTTINI (E.). — **Etude physico-chimique des sols en Ligurie. (La région Savonèse.)** Note III. (Studio chimico-agrario dei terreni della Liguria (Il Savonese). Nota III. *Annal. d. Sperimentaz. Agr.*, XII, 2, Supplemento, p. V à XLIII.

L'auteur avait pour but l'établissement de la carte agricole de cette région. Il donne la composition granulométrique et chimique des différents sols.

S. M.

III. — FERTILISATION

A. — Expérimentation générale.

HAUSSMANN (H.) et STEINBERG (C.). — **Essais de fertilisation des prairies de montagne.** (Prove di concimazione in montagna). (Valtellina, triennio 1953-1955). *Annal. d. Sperimentaz. Agr.*, XII, 1, 287-331.

Ces essais ont duré trois à cinq ans, à trois altitudes (1 200-1 800-2 400 m) dans les Alpes Centrales. Ils ont mis en évidence l'efficacité de certains traitements suffisamment longs, parmi lesquels on peut citer le repos des gazons dégradés, l'apport d'engrais et dans certains cas, l'amendement calcique.

Parmi les éléments fertilisants, l'association la plus active est PK (superphosphate et chlorure). L'acide phosphorique est le facteur chimique le plus efficace, suivi de la potasse, puis de l'azote. La fumure organo-minérale exerce une action nettement supérieure à celle de la fertilisation minérale. L'amendement entraîne une arrière-action appréciable de trois ans au moins. Les traitements mécaniques ont été sans effet positif.

S. M.

E. — Engrais phosphatés.

BOTTINI (E.). — **Sur l'efficacité des phosphates micropulvérisés.** (Sull'efficacia concimante dei fosfati micropolverizzati). *Annal. d. Sperimentaz. Agr.*, XII, 2, 503-524.

L'auteur a constaté que l'efficacité de ces produits pouvait s'observer dans la plupart des cas dès la première année de leur application.

S. M.

IV. — PRODUCTION VÉGÉTALE

A. — Phytotechnique.

COSMO (I.) et coll. — **Recherches sur la reconstitution du vignoble de la plaine de Padoue.** (Indagini sulla ricostituzione viticola nella pianura della provincia di Padova). *Annal. d. Sperimentaz. Agr.*, XII, 2 et 3.

1re *étude* : Partie basse de la plaine (vignoble de l'Adige et du Gorzon). Vol. XII nº 2, p. 585 à 621.

2e *étude* : Partie basse de la plaine (région céréalière de l'Adige et du Gorzon. Vol. XII nº 2, p. 621 à 649.

3e *étude* : Partie haute de la plaine. Vol. XII nº 3, p. 693 à 721.

Les conclusions des auteurs concernent le choix des porte-greffes et des cépages pour les régions intéressées.

S. M.

COSMO (I.) et coll. — **Recherches sur la reconstitution du vignoble vénitien en vue de son orientation future. Résultats expérimentaux sur cépages et porte-greffes dans la province de Bellino depuis 1923.** (Indagini simma Ricostituzione viticola delle venezie ai fini dell'orientamento per i futuri impianti. Risultati delle sperimentazione compiuta sui vitigni europei da vino e sui portinnesti in provincia di Belluno a decorrere dal 1923). *Annal. d. Sperimentaz. Agr.*, XII, 1, 55-102.

Les auteurs donnent les résultats obtenus à partir de neuf vignobles expérimentaux par la station de Congegliano (province de Belluno).

Ils décrivent les difficultés rencontrées et donnent des indications utiles pour les choix des porte-greffes et cépages conseillés pour les futures plantations

S. M.

WILLIAMS (D. E) et VLAMIS (J.). — **Action de la silice sur le rendement, la fixation et la distribution du manganèse-54 dans les feuilles d'orges cultivées sur solutions de culture.** (The effect of silicon on yield and Manganèse-54 uptake and distribution in the leaves of barley plants grown in culture solutions). *Plant Physiology*, 32, 5, 404-409, 1957.

Mn peut devenir toxique pour des plantes d'orge cultivées sur solutions nutritives de Hoagland, à des concentrations de 0,5 à 5 p. p. m. Les symptômes se manifestent par de petites taches brun-sombre à l'extrémité des feuilles les plus âgées, taches qui s'étendent ensuite vers le bas de la feuille jusqu'à ce que le limbe en soit entièrement couvert. Cette nécrose peut être atténuée par l'addition de silicates solubles aux solutions de culture. La diminution de la nécrose est liée à une augmentation du rendement. La silice n'a pas d'action sur la teneur en Mn des feuilles.

Une expérience effectuée à l'aide de Mn^{54} est faite pour étudier l'action possible de la silice sur la distribution de Mn à l'intérieur des feuilles. Une comparaison établie entre les autoradiographies et les photographies des mêmes surfaces de feuilles, montre une relation directe entre la présence d'îlots radioactifs et les taches nécrotiques visibles. La distribution de la radioactivité dans les feuilles d'orge provenant de plantes cultivées en présence de silice est uniforme. La silice altère la distribution de Mn dans le tissu foliaire, comme cela se produit avec de fortes concentrations en macro-éléments tels que Ca, Mg et K. Le mécanisme exact par lequel Si empêche l'accumulation de Mn, évitant ainsi la nécrose due à la toxicité, est encore inconnu.

M. G.

A. — Physiologie végétale.

SLATER (W. G.) et BEEVERS (H.). — **Utilisation du d-glycuronate par les coleoptiles de maïs.** (Utilization of D-glucuronate by corn coleoptiles). *Plant Physiology*, 33, 2, p. 146-151, 1958.

Le jeune coleoptile de maïs possède la faculté de convertir le D-glycuronate radioactif en $C^{14}O^2$. En comparant les rendements radiochimiques en $C^{14}O^2$ produits à partir de l'acide D-glycuronique-6-C^{14} et de l'acide D-glycuronique-U-$C^1{}_4$ par 1 g de coléoptile, il est montré qu'au bout de 12 h environ (temps pendant lequel environ la moitié des 20 micromolécules apportées au substrat ont été utilisées), le seul carbone du substrat figurant dans le CO^2 est celui du C-6. Le D-glycuronolactone-C^{14} est aussi décarboxylé et les tranches de tissus amènent l'hydrolyse de la fonction lactone en acide libre.

Aucun produit soluble de décarboxylation de l'acide D-glycuronique-U-C^{14} ne peut être décelé, mais le résidu insoluble après extraction avec l'alcool à 80 p. 100 (ou le précipité produit par l'acide trichloracétique à 10 p. 100) est 5 fois plus radioactif que le CO^2 respiré.

L'hydrolyse de ce résidu révèle que le composant le plus radioactif est le D-xylose. Ceci suggère que la synthèse du xylane et la décarboxylation du D-glycuronate sont étroitement liées.

M. G.

BACH (M. K.) et coll. — **Migration des produits photosynthétiques vers les nodosités de soja et leur rôle dans la fixation de l'azote.** (Translocation of photosynthetic products to soybean nodules and their role in nitrogen fixation). *Plant Physiology*, 33, 2, p. 118-124, 1958.

Les tissus de la racine et des nodosités de soja dont les parties aériennes ont été exposées à $C^{14}O_2$ sont examinés. Les auteurs étudient la distribution de C^{14} parmi les acides organiques, acides aminés et hydrates de carbone et les changements survenant dans cette distribution lorsque les plantes métabolisent les substances radioactives à l'obscurité, à la suite d'une période initiale à la lumière.

Pendant le jour, les acides organiques des racines contiennent plus de C^{14} total que les acides aminés. L'inverse est vrai pour les nodosités. A l'obscurité, le pourcentage de C^{14} total dans les acides organiques des racines diminue tandis qu'il augmente de façon marquée dans les nodosités.

Plusieurs sucres et acides non identifiés ont été trouvés.

L'addition de sucres à des nodosités de soja excisées et coupées en tranche augmente leur fixation de N^{15}. Les concentrations optima de sucre sont de l'ordre de 0,005 à 0,02 M ; le glucose, le fructose et le saccharose ont essentiellement la même action.

M. G.

STUART FREAR (D.) et BURRELL (R. C.). — **Assimilation de N^{15} à partir de l'hyponitrite marqué, par les feuilles de soja).** (The assimilation of N^{15} from labeled hyponitrite by soybean leaves). *Plant Physiology*, 33, 2, p. 105-109, 1958.

Le but de ces études est de vérifier, par l'emploi de l'hyponitrite marqué au N^{15}, si l'azote hyponitreux est assimilé par les végétaux supérieurs.

L'hyponitrite de sodium est préparé avec un faible rendement mais avec une grande pureté (90 à 98 p. 100), par réduction du nitrate de sodium marqué avec l'amalgame de sodium.

Les solutions aqueuses d'hyponitrite de sodium à pH 11,3 se maintiennent stables pendant 2 heures à la température ambiante. Tamponnées à pH 7,3, elles se décomposent rapidement.

L'assimilation de N^{15}, à partir de l'hyponitrite marqué, par les sections de feuilles de soja, est environ 4 fois plus grande à la lumière qu'à l'obscurité.

L'azote hyponitreux est partiellement ou complètement oxydé en nitrite ou nitrate avant sa réduction en ammonium à l'intérieur des feuilles de soja.

Le rôle de l'hyponitrite comme intermédiaire dans la réduction des nitrates ou des nitrites en ammoniaque reste à démontrer.

M. G.

JENSEN (W. A.). — **Teneur en hydrate de carbone des cellules terminales des racines d'allium cepa.** (Carbohydrate content of the root tip cells of Allium Cepa). *Plant Physiology*, 33, 1, p. 65, 1958.

La teneur des cellules en hydrates de carbone totaux et hexose total est déterminée sur les 2 premiers millimètres de la racine d'ail.

Les résultats indiquent que la teneur totale en hydrates de carbone des cellules est directement proportionnelle au volume de la cellule. Ceci est également vrai pour la teneur en hexose total pendant les premiers stades de développement. Avec l'élongation, cependant, l'augmentation en hexose total n'est pas directement proportionnelle à l'augmentation du volume de la cellule, suggérant la formation d'un non-hexose contenant un constituant de la cloison cellulaire.

M. G.

KESSLER (B.) et MOSCICKI (ZEV W.). — **Action de l'acide triiodobenzoïque et de l'hydrazide maléique sur le transport du calcium et du fer appliqué aux feuilles.** (Effect of triiodobenzoic acid and maleic hydrazide upon the transport of foliar applied calcium and iron). *Plant Physiology*, 33, 1, p. 70-71, 1958.

L'absence de mobilité du calcium appliqué aux surfaces foliaires a été signalée par plusieurs auteurs. En pulvérisant des feuilles de tomate avec une solution à 100 p. p. m. de TIBA ou de MH avant la pulvérisation de Ca^{45}, on augmente beaucoup le transport du calcium de la feuille terminale vers les feuilles inférieures avec TIBA et très légèrement avec MH.

D'autre part, des feuilles chlorotiques de pêcher sont pulvérisées avec du sulfate de fer après avoir subi ou non une pulvérisation avec les deux substances ci-dessus. Le sulfate de fer, pulvérisé seul, produit un reverdissement localisé dans certaines zones de la feuille, tandis que pulvérisé après un traitement au TIBA, il produit un reverdissement uniforme de la feuille entière. L'hydrazine maléique, par contre, n'a pas d'action sur le transport du fer.

M. G.

BROWN (J. C.) et coll. — **Métabolisme des hydrates de carbone et des acides organiques avec distribution de C^{14}, sous l'influence du cuivre chez le blé Thatcher.** (Carbohydrate and organic acid metabolism with C^{14} distribution affected by copper in Thatcher wheat). *Plant Physiology*, 33, 1, p. 38-42, 1958.

Les symptômes de carence en cuivre se manifestent plus fortement lorsque la plante passe du stade végétatif au stade de reproduction ; ils se caractérisent par :

1. — Perte précoce de turgescence dans les feuilles des blés déficients en cuivre.
2. — Pas d'augmentation de concentration en chlorophylle pendant les premiers stades de la croissance.
3. — Dépérissement des extrémités des feuilles lorsque l'élongation des entre nœuds survient.
4. — Absence d'épis.
5. — Les concentrations en azote (y compris les nitrates), en phosphore et potassium restent relativement élevées dans les plantes déficientes en cuivre.

6. — Réduction de l'activité de l'acide ascorbique oxydase dans les premiers stades de la croissance ; augmentation de l'activité de la catalase.

Le cuivre intervient dans les métallo-flavoprotéines.

La concentration en acides organiques diminue dans les plantes contenant suffisamment de cuivre, lorsque la concentration en sucres augmente. Elle ne change pas dans les plantes déficientes.

Tandis que les concentrations en acides aminés ne changent pas dans les plantes pourvues en cuivre, on constate une concentration plus grande d'asparagine et d'acide aspartique lorsque les symptômes de déficience en cuivre apparaissent sur les blés expérimentés.

Il y aurait changement du redox au cours de la déficience cuprique et d'autre part, le fait que le métabolisme des acides organiques est perturbé, montre l'importance du cuivre dans la croissance du blé.

M. G.

SWANSON (C. A.) et EL-SHISHINY (E. D. H.). — **Migration des sucres chez la vigne. Variété concord.** (Translocation of sugars in the concord grape). *Plant Physiology*, V. 133, nº 1, p. 33-37, 1958.

Le C^{14} marqué est introduit en apportant $C^{14}O_2$ à une seule feuille du sarment de vigne, sous des conditions favorables à la photosynthèse.

Des quantités appréciables de fructose et glucose marqués sont trouvées dans la tige mais semblent dériver principalement de l'hydrolyse du saccharose car le rapport glucose C^{14}/fructose C^{14} est d'environ 1. Les résultats révèlent que le saccharose prédomine largement dans la tige, l'écorce et le xylème de la vigne.

Ces résultats concordent avec les données de la littérature montrant l'absence complète de glucose et de fructose et la prédominance du saccharose dans les tubes criblés d'un nombre considérable d'espèces.

La concordance des résultats obtenus par des méthodes différentes fournit une preuve supplémentaire que la migration des sucres survient d'abord dans les tubes criblés ou cellules criblées du phloème.

M. G.

WOOLLEY (J. T.) et coll. — **Migration du chlore à l'intérieur des plantes.** (Movement of chlorine within plants). *Plant Physiology*, V. 33, nº 1, p. 1-7, 1958.

Les auteurs définissent d'abord le mot « retranslocation » qui correspond au départ d'une substance localisée dans un organe où elle s'est accumulée précédemment. Les expériences ont été faites pour prouver que le chlore peut migrer d'un organe vers un autre et migrer à nouveau, chez la tomate et la betterave à sucre. Le radiochlore Cl^{36} est appliqué aux feuilles sous forme de ClNa marqué, puis les plantes sont récoltées de 1 à 8 jours plus tard. Les radioautographes montrent que Cl^{36} atteint toutes les parties de la plante.

D'autre part, il est démontré que les jeunes organes des plantes peuvent recevoir du chlore aux dépens des organes âgés. Le phénomène de « retranslocation » se produit des parties riches en chlore vers les parties pauvres en chlore en même temps que se produit une diminution générale de la concentration en chlore de toutes les parties du végétal.

M. G.

SKOK (J.). — **Relation entre la nutrition en bore et la radiosensibilité du tournesol.** (Relationship of boron nutrition to radiosensitivity of sunflower plants). *Plant Physiology*, 32, 6, 648-658, 1957.

Des semences de tournesol âgées de 7 jours sont cultivées en solutions nutritives avec ou sans bore pendant 2 à 5 jours et ensuite irradiées par les rayons X et de nouveau approvisionnées en bore.

Après 3 jours, en solution nutritive, on constate un retard de végétation des plantes cultivées sans bore, précédant les symptômes de déficience en bore qui se développent ensuite.

Les rayons X de 0 à 1 000 r ne détruisent ni les bourgeons ni les autres parties de la plante et ne diminuent pas le nombre de nœuds. Les rayons de 2 000 et 5 000 r endommagent et font mourir les parties irradiées.

Le bore apporté aux plantes pendant 3 jours avant exposition aux rayons X diminue le dommage provoqué par les radiations.

L'absence de bore retarde certaines phases de l'activité cellulaire et rend les plantes plus résistantes à la radioactivité ; ainsi la phase d'activité cellulaire qui est normalement radiosensible peut être rendue relativement radiorésistante par apport de bore et est ainsi sous la dépendance de cet élément. Une expérience faite en irradiant une série de semences pendant la germination et à différents stades de la croissance indique que la maturation cellulaire et la différenciation cellulaire sont les phases les plus sensibles à la radioactivité.

L'action apparente du bore sur la migration des sucres semble liée à l'action du bore sur l'activité cellulaire plutôt qu'à une augmentation de diffusion à travers les membranes par la formation d'un complexe sucre-borate.

M. G.

STOLWJK (J. A. J.) et THIMANN (K. V.). — **Sur l'absorption du gaz carbonique et du bicarbonate par les racines et leur influence sur la croissance.** (On the uptake of carbon dioxide and bicarbonate by roots and its influence on growth). *Plant Physiology*, 32, 6, 513-519, 1957.

La croissance des racines de Pois, de vesces, de haricot et de tournesol est complètement inhibée lorsque la racine plonge dans une atmosphère contenant 6,5 p. 100 de CO_2. L'avoine et l'orge ne sont pas touchées par ce traitement. La croissance de la racine du pois est légèrement stimulée pour des concentrations de CO_2 voisines de 0,5 p. 100, mais elle est inhibée au-dessus de 1 p. 100. Quelques explications possibles de la différence de sensibilité à CO_2 des pois et de l'orge sont développées. Il semble qu'il y ait une action toxique spécifique de CO_2.

La fixation de CO_2 par les racines de pois et d'orge est de l'ordre de quelques p. 100 seulement de la quantité produite par la respiration dans les expériences de courte durée et cesse virtuellement au bout de 8 heures. Le volume de CO_2 fixé est converti en acides citrique et malique et en sucres ; après 24 h 10 p. 100 seulement ont pénétré dans la fraction insoluble à l'alcool.

La migration des produits dans les bourgeons de la plante est environ 3 fois plus grande à la lumière qu'à l'obscurité.

Il est conclu que la fertilisation carbonatée des récoltes n'est pas bénéfique et que la teneur en CO_2 de certains sols peut être déjà excessive.

M. G.

KOONTZ (H.) et BIDDULPH (O.). — **Facteurs affectant l'absorption et le mouvement du phosphore appliqué aux feuilles.** (Factors affecting absorption and translocation of foliar applied phosphorus). *Plant Physiology*, 32, 5, 463-470, 1957.

Les actions de divers facteurs sur l'absorption et la migration de P^{32} appliqué aux feuilles de haricots sont déterminées.

La méthode d'application par pulvérisation se montre supérieure à l'injection par une nervure de la feuille ou à l'application de gouttelettes.

Les mouillants n'augmentent pas la migration de P^{32}.

La quantité de phosphore transportée augmente lorsque la quantité de phosphore appliquée augmente, mais pas en proportions directes.

La migration du phosphore appliqué est plus élevée avec NaH_2PO_4 et diminue avec les composés suivants :

$$K_2HPO_4 > K_3PO_4 = Na_2HPO_4 = NH_4H_2PO_4 = (NH_4)_2HPO_4 > H_3PO_4 > KH_2PO_4 = Na_3PO_4.$$

Il est observé que NaH_2PO_4 et K_2HPO_4 ne cristallisent pas aussi rapidement sur la feuille que les autres composés. Leur efficacité dans l'apport de P est due à leur rétention effective d'humidité.

Sur 10 mM de NaH_2PO_4 appliquées à la feuille, environ la moitié est absorbée après 30 heures mais au bout de 96 heures 60 p. 100 du phosphore appliqué est absorbé et plus de la moitié est distribué hors de la feuille.

La quantité de P exportée est indépendante de la surface de feuille traitée sauf aux plus fortes concentrations (30 mM) et de la face traitée (supérieure ou inférieure). Elle est proportionnelle à l'âge de la feuille et donc à sa position, les feuilles âgées exportent plus de phosphore que les jeunes feuilles. La quantité de P transportée d'une feuille à la racine est proportionnelle à la proximité de la feuille et de la racine.

Le mouvement de P est affaibli en cas de déficience phosphorique.

Il est vraisemblable que des plantes puissent arriver à maturité en leur fournissant leur phosphore par application foliaire.

M. G.

BUKOVAC (M. J.) et WITTWER (S. H.). — **Absorption et mobilité des éléments nutritifs appliqués aux feuilles.** (Absorption and mobility of foliar applied nutrients). *Plant Physiology*, 32, 5, 428-435, 1957.

L'absorption, le transport et la mobilité d'isotopes radioactifs tels que : rubidium, sodium, potassium, phosphore, chlore, soufre, zinc, cuivre, manganèse, fer, molybdène, calcium, strontium, et baryum, appliqués aux feuilles de haricots sont déterminés.

Ces expériences prouvent que tous les éléments minéraux sont absorbsé par les feuilles mais à des vitesses différentes.

L'absorption de chaque élément, sa mobilité et sa distribution subséquentes sont mesurées en déterminant le pourcentage d'isotope appliqué, trouvé dans les parties non traitées de la plante et par les autoradiogrammes.

Les isotopes les plus rapidement absorbés par la feuille de haricot sont Na^{22}, K^{42} et Rb^{86} et leur accumulation dans les tiges s'effectue en 24 heures. Les vitesses d'absorption du calcium (Ca^{45}) du strontium (Sr^{89}) et du baryum (Ba^{131}) sont parallèles mais la migration à partir de la feuille traitée vers les autres tissus de la plante est négligeable.

Le phosphore, le chlore, le soufre, le zinc, le cuivre, le manganèse, le fer et le molybdène sont intermédiaires entre ces 2 groupes, la mobilité décroissant dans l'ordre donné.

M. G.

TOMBESI (L.) et CALE (T.). — **Le métabolisme des végétaux et les disponibilités hydriques du sol.** (Il metabolismo dei vegetali e le disponibilita idriche del Suolo. Nota II.)*Anna. d. Sperimentaz. Agr.*, XII, 2, 459-471.

Les auteurs ont étudié l'action sur le métabolisme de « Vicia faba major » de deux régimes hydriques, l'un normal, l'autre réduit.

Ils ont observé que :

1° L'activité respiratoire et l'activité de l'oxydase des polyphénols sont plus élevées dans les plantes manquant d'eau.

2° L'activité de la catalase et de la carboanhydrase est supérieure dans les plantes alimentées normalement en eau.

3° La diminution de l'eau provoque un abaissement du taux de N et P dans la plante, et une augmentation de K.

S. M.

DOTTI (F.) et coll. — **Le diagnostic foliaire du pêcher. Perfectionnement de la méthode.** (La diagnostica figliare del pesco. Perfezionamenti del metodo). *Annal. d. Sperimentaz. Agr.*, XII, 2, 393-415.

Les auteurs précisent quelques normes utilisables pour le diagnostic foliaire des arbres fruitiers. En Italie, la meilleure période va de la première semaine de juillet au début d'août.

Des limites inférieures et supérieures de fumures sont établies.

Il existe un rapport direct entre l'augmentation de la fumure et celle de la récolte.

S. M.

VII. — BIBLIOGRAPHIE

Trace elements. Proceedings of the Conference held at the Ohio. Agricultural Experiment Station, Wooster, Ohio, October 14-16, 1957. New-York and London, Academic Press Inc., 1958, 410 p.

Différentes manifestations furent organisées en 1957 par l'Ohio Agricultural Experiment Station, pour célébrer le 75e anniversaire de sa fondation ; en particulier, une Conférence scientifique eut lieu pendant trois jours sur le thème : les oligo-éléments et leur rôle chez les animaux, les plantes et les microorganismes, avec la collaboration de chercheurs appartenant à différents Instituts et Laboratoires américains et de chercheurs étrangers.

Parmi les différents travaux présentés lors de ce symposium, citons :

D. I. ARNON : Le rôle des oligo-éléments dans la nutrition des plantes, en particulier dans la photosynthèse et l'assimilation de l'azote.

E. J. UNDERWOOD : Les oligo-éléments chez les animaux.

S. H. HUTNER et coll. : Les oligo-éléments chez les microorganismes.

K. C. BEESON : Relation entre les sols, la teneur en oligo-éléments des plantes et la nutrition animale.

A. PIRSON : Le manganèse et son rôle dans la photosynthèse.

D. J. HOFF et H. J. MEDERSKI : Méthodes chimiques de détermination du manganèse assimilable du sol.

J. M. Beatle : Le manganèse dans la production des raisins Concord.

H. F. Winter : Toxicité du manganèse, cause possible de la nécrose interne de l'écorce des pommiers.

T. E. Brown et coll. : Effets physiologiques de la carence en manganèse.

A. L. Moxon : Le selenium : présence dans les roches et les sols, absorption par les plantes, action toxique chez les animaux, et rôle essentiel possible dans la nutrition animale.

J. Skok : Le rôle du bore dans la cellule végétale.

A. Nason : Rôle métabolique du vanadium et du molybdène chez les plantes et les animaux.

R. F. Keeler et J. E. Varner : Métabolisme des molybdate et tungstate chez l'*Azotobacter*.

S. Granick : Métabolisme du fer chez les animaux et les plantes.

M.-L. C.

Plaisance (G.) et Cailleux (A.). — **Dictionnaire des Sols.** 616 p., La maison rustique, 1958.

Ce dictionnaire comprend à la fois des mots scientifiques et des mots populaires, parce qu'il a paru bon de les grouper dans un même ouvrage : leurs sens s'éclairent réciproquement et le scientifique lui-même a intérêt à connaître les mots populaires, et à profiter du trésor d'expérience et d'observations, souvent fort justes, qu'ils recèlent.

Le dictionnaire comprend :

Dans le corps de l'ouvrage :

1° Mots scientifiques français de pédologie ou sciences connexes.

2° Mots scientifiques étrangers introduits en France, ou leurs traductions françaises.

3° Noms communs populaires français de terres et sols ainsi que quelques noms de paysages végétaux étroitement liés aux sols (parfois même indissociables, ex. *garrigue*), d'instruments aratoires, de formes du relief, y compris les noms alsaciens, basques, bretons, canadiens, catalans, corses, flamands, occitans.

4° Quelques mots populaires de langues étrangères ou de l'Union française.

5° Abréviations et symboles pédologiques français et étrangers.

A la fin de l'ouvrage (en annexe) :

1° Symboles des mesures (normes AFNOR).

2° Unités anglaises et américaines.

3° Abréviations usuelles en langues : française, latine, grecque, anglaise, allemande et employées dans les textes scientifiques.

Quand un mot scientifique est tiré de la langue commune, les auteurs ont d'abord rappelé le sens de la langue commune. L'expérience montre que ce sens continue toujours à influencer fortement le sens scientifique, même dans l'esprit des initiés, parce qu'ils ne cessent pas, malgré leur spécialisation, d'être en rapport avec les autres hommes. Les sens communs accessoires, ou dérivés, ont été aussi indiqués, mais seulement quand ils éclairent le sens scientifique.

Les diminutifs, si fréquents dans les campagnes, ont été cités pour une part ; pour le reste, on en déduira aisément le sens en se reportant au mot dont ils dérivent.

Sous la rubrique *Géotechnique*, les auteurs ont groupé les données relatives à la résistance des sols, à la mécanique des sols, à la technologie, aux travaux publics.

On trouvera quelques développements historiques et autres aux mots : *Bible, Folklore, Histoire de la Pédologie, Mythologie, Pag*, etc...

Ce volume, particulièrement instructif s'adresse à tous ceux qui s'intéressent aux sols : agronomes, archéologues, architectes, botanistes, cultivateurs, forestiers, géographes, géologues, ingénieurs des travaux publics, instituteurs, linguistes, pédologues, préhistoriens, professeurs, etc.

Mises au point de chimie analytique pure et appliquée et d'analyse bromatologique. Publiées sous la direction de J. A. GAUTIER. Paris, Masson, 1957, 161 p.

On trouvera dans cette cinquième série des « Mises au point de chimie analytique pure et appliquée », les six études suivantes :

— E. ANDRÉ : Vues d'ensemble sur les méthodes chimiques d'analyse des corps gras.

— G. CHARLOT : La coulométrie.

— P. DARMONT : La recherche biologique des antiseptiques dans les vins.

— P. DUPAIGNE : L'analyse des jus de fruits.

— R. POTTIER : Utilisation en analyse quantitative des relations non stoechiométriques.

— J. E. DUBOIS : La polarovoltrie et la polarammétrie.

M.-L. C.

DUCKHAM (A. N.). — **The fabric of farming.** London, Chatto and Windus Ltd, 1958, 224 p.

L'auteur, professeur d'agriculture à l'Université de Reading, résume ainsi dans l'introduction, le but de son ouvrage : « suivre le développement de l'Agriculture jusqu'à sa complexité actuelle, et ceci à la fois des points de vue historique et biogéographique ; montrer comment les multiples facteurs de l'agriculture moderne, interfèrent et se complètent pour faire de l'exploitation moderne un ensemble complexe, mais viable ». Après avoir, dans les premiers chapitres, défini l'agriculture comme « l'utilisation des forces de la nature » et montré comment l'homme domestique ces forces, il esquisse l'évolution suivie par l'agriculture, depuis les méthodes primitives utilisées par certaines tribus de Rhodésie du nord, prises à titre d'exemple, jusqu'aux méthodes actuelles de culture intensive. Il dégage de cette étude les principes qui sont à la base de la réussite des exploitations agricoles, et expose l'application qui en a été faite dans une ferme dépendant de l'Université de Reading.

M. I. C.

SADOWNIKOV (I. F.). — **Bodenkundliche Untersuchungen sowie deren Auswertung durch Bodenkarten.** (Recherches sur le sol et leur interprétation au moyen de cartes). Traduit du russe par E. Kahn. Berlin, Akademie-Verlag, 1958, 110 p.

L'auteur examine d'abord la préparation du travail d'étude et de cartographie des sols : but, détermination de l'échelle de la carte, matériel nécessaire (cartes, carnets de notes), examen des documents existant, facteurs de pédogénèse.

L'examen du sol sur le terrain comporte les opérations suivantes : morphologie du sol et de la roche-mère, couleur, structure, humidité, profondeur, porosité, particularités du profil (concrétions, etc.), horizons, enracinement des végétaux, granulométrie, déterminations analytiques faites sur le terrain.

Viennent ensuite des considérations sur l'exécution des prospections, les prises d'échantillon, la tenue du carnet de notes, les conclusions à tirer de l'examen d'un profil.

Les cas particuliers suivants sont aussi étudiés : sols érodés, sols jeunes et en friche ; établissement d'un réseau d'irrigation.

Après avoir examiné les questions de contrôle du travail et les déterminations analytiques, l'auteur en vient au dessin de la carte de sol et à la rédaction de la notice explicative.

R. G.

Mises au point de chimie analytique pure et appliquée et d'analyse bromatologique. Publiées sous la direction de J. A. Gautier. 6e série, Paris, Masson et Cie, 172 p., 1958.

La 6e série de cette collection, qui se propose de faire chaque année le point des faits nouveaux intéressant la chimie analytique générale et, plus spécialement, ses applications aux composés organiques et biologiques, comprend les articles suivants :

P. Devillers : Analyse des produits sucrés industriels et commerciaux : échangeurs d'ions et chromatographie.

G. Duval : Applications analytiques de la thermogravimétrie.

J. A. Gautier : Chimie analytique et contrôle des médicaments.

H. Renault : Le dosage des radioéléments en biologie et en radiotoxicologie.

J. Renault : Le tétraphénylborure de sodium comme réactif analytique.

J. P. Wolff : Méthodes physico-chimiques d'analyse des corps gras.

Dansereau (P.). — **Biogeography. An ecological perspective.** New-York, Ronald Press Co, 1957, 394 p., Prix $ 7.50.

Dans cet ouvrage, l'auteur, directeur de l'Institut de botanique et doyen de la Faculté des Sciences de l'Université de Montréal, traite successivement des cinq aspects de la biogéographie : Historique, bioclimatologie, synecologie, autecologie et influences humaines.

Le *bio-historien* étudie l'apparition, au cours des temps géologiques, des êtres vivants, leur expansion géographique, leur disparition ou leur survivance, et recherche les causes de ces différents phénomènes (soulèvements, transgressions marines, glaciations, etc.).

Le point de départ de la *bioclimatologie* sera l'analyse des différents facteurs du climat, c'est-à-dire la météorologie et la climatologie. On tentera de mettre en évidence l'action des divers éléments : lumière, température ou sécheresse, sur la flore ou la faune. Auxd onnées proprement météorologiques, on peut encore substituer, pour caractériser le climat, certaines données phénologiques.

Comme méthode d'étude, l'auteur cite notamment celle des spectres biologiques conduisant au tracé, sur la carte, des isobiochores (lignes joignant les lieux ayant même spectre). Il expose enfin les tentatives faites pour caractériser, d'une part, les zones climatiques et, d'autre part, les différents types d'associations végétales.

La *synécologie* traite de l'ensemble des êtres vivants, végétaux ou animaux, figurant dans une même association. La composition floristique, la succession des étages au sein de la forêt, la fréquence, la constance, la fidélité des différentes espèces dans un type d'association, l'observation des espèces indicatrices, dominantes ou caractéristiques, relèvent de la synécologie.

Après avoir rappelé les termes servant à caractériser le milieu : biochore, biocycle, habitat, biotope, l'auteur passe en revue différents types d'associations, caractéristiques des eaux douces ou saumâtres, des terres humides ou sèches, etc. Il traite enfin de la dynamique de la végétation (compétition entre espèces, inhibitions, regressions, cycles) et de la phytosociologie sous son double aspect analytique et synthétique.

En *autecologie*, on considèrera en particulier telle espèce ou, éventuellement, telles races ou variété. On étudiera ses exigences ou l'influence à son égard des différents facteurs chimiques (oxygène, calcium,p H, sels minéraux) et physiques (lumière, chaleur, humidité, pression). Les facteurs biologiques considérés pourront être la vitesse de croissance, la résistance aux maladies ou aux adversités météorologiques, la fécondité, la faculté germinative, etc. L'expérimentation pourra ici compléter l'observation.

Dans un dernier chapitre, l'auteur examine l'influence des *activités humaines* : agriculture, élevage, feux, etc.

M. H.

Humus agricole, par A. COLLETTE, Imp. et Edit. du Nord, 15, rue d'Angleterre, Lille. 1958, 213 p.

L'auteur, s'appuyant sur une importante documentation scientifique, fait le point de nos connaissances actuelles sur la difficile question de la matière organique des sols. Après une introduction, où le problème est posé, l'auteur aborde l'étude de la composition de l'humus, son origine, sa minéralisation et son influence sur les propriétés du sol et la nutrition des plantes. La deuxième partie, intitulée « La restitution », a trait au problème de la conservation d'un taux humique suffisant dans les sols agricoles, et aux moyens dont dispose le cultivateur pour enrichir son sol en matière organique.

Ce livre, simple et accessible à tous, peut rendre service à tous ceux que préoccupe la question fondamentale du maintien de la fertilité du sol.

LECOMTE (A.) et RIEDEL (C. E.). — **L'Agriculture Productive.** (Encyclopédie des Connaissances Agricoles. Hachette, 1958).

L'ouvrage présenté est le fruit d'un long effort. Les matériaux rassemblés par M. l'Inspecteur Général LECOMTE ont été repris, après sa mort en 1949, par M. RIEDEL, Maître de Conférences à l'Institut National Agronomique.

On ne peut donner ici qu'un très rapide résumé de cet ouvrage de plus de 500 pages, divisé en 10 parties.

Dans la première partie, les auteurs analysent la situation de l'Agriculture Française et font ressortir les voies et les moyens par lesquels cette agriculture peut et doit progresser. Ce progrès doit être dominé par la notion de productivité.

Les trois parties suivantes sont consacrées à l'étude des facteurs de la production agricole : facteurs techniques, climat et sol, facteurs économiques

et sociaux. Les auteurs accordent une part importante à l'étude du sol. Après avoir rappelé les principales notions de pédologie, de chimie et de microbiologie du sol, les auteurs s'efforcent de définir et de préciser la vocation culturale des principaux types de sol.

Les auteurs passent ensuite à l'étude des techniques culturales : mise en valeur et amélioration du sol (5e partie); Humus et amendements humiques (6e partie); Travail du sol (7e partie); Fertilisation (8e et 9e parties).

Enfin la 10e partie résume et conclut l'ouvrage. Les auteurs s'y livrent à l'étude critique des facteurs du rendement.

L'originalité et l'intérêt particulier de l'ouvrage résident d'une part dans l'interprétation des données pédologiques les plus récentes et, d'autre part dans la substitution de la notion de productivité à celle de production.

Ecrit à l'intention des praticiens, l'ouvrage présente un caractère essentiellement technique et pratique. Néanmoins, les auteurs appuient leur exposé et leur raisonnement sur des bases scientifiques certaines et s'efforcent, à la lumière de leur expérience personnelle, de préciser l'interprétation et l'application à la pratique des données les plus récentes de la science, notamment de la pédologie et de l'agronomie, données sur lesquelles sont apportées d'utiles indications.

Aussi, « l'Agriculture Productive » se situe bien au-dessus de la vulgarisation élémentaire. Elle figurera en bonne place dans la bibliothèque de l'« agriculteur averti » aussi bien que dans celle de l'agronome. L'étudiant en tirera lui aussi un excellent profit.

Le Directeur Gérant : B. LACLAVIÈRE.

Imprimerie Bussière à Saint-Amand (Cher), France. — 25 2 1959

Dépôt légal: 1er trimestre 1959 *N° d'impression: 288*

SOUS-SOLAGE ET DRAINAGE-TAUPE

PAR

S. HENIN et A. FEODOROFF

Laboratoire des Sols, Versailles.

PLAN DU MÉMOIRE

I. — Introduction générale.

II. — Sous-solage.

II*a*. — Sous-solage en terrain profond.

A. — Introduction. Résultats d'études antérieures.
B. — Étude de sous-solages récents effectués en France.
C. — Conclusion.

II*b*. — Sous-solage en sol dur.

II*c*. — Conclusion.

III. — Drainage-taupe.

A. — Introduction.
B. — Étude de drainages-taupe effectués en France.
C. — Appréciation des propriétés des sols devant recevoir un drainage-taupe.
D. — Conclusion.

IV. — Conclusion générale.

I. — INTRODUCTION GÉNÉRALE

Depuis un certain temps, et dans tous les pays à agriculture évoluée, on est amené à remettre en question l'intérêt de pratiques agricoles dont l'utilité avait été portée à la hauteur d'un dogme. C'est le cas du labour profond, du sous-solage et du drainage-taupe.

En particulier, des expériences maintenant assez nombreuses ont montré que sauf circonstances particulières, d'ailleurs assez rares, l'application de ces techniques ne permettait pas par elles-mêmes d'augmenter les rendements.

Nous considérerons dans cet article l'efficacité de deux de ces techniques : le sous-solage et le drainage-taupe.

Bien qu'il s'agisse, comme nous le verrons par la suite, de deux opérations fondamentalement différentes, elles peuvent présenter suivant les conditions où on les réalise de telles analogies qu'il était indispensable de les discuter dans un même article. Nous commencerons par définir ces deux opérations.

Le sous-solage a pour but de diviser les couches profondes du terrain parce que l'on considère qu'elles sont trop compactes ou trop dures pour permettre la pénétration des racines.

Le drainage-taupe consiste à mouler dans les parties profondes du terrain une galerie jouant le rôle d'un drain et permettant par conséquent l'écoulement de l'eau.

De ces définitions, il résulte que le sous-solage doit être effectué sur une terre sèche lorsqu'elle est argileuse, ou sur un matériau naturellement friable. C'est le cas des alios, de certains sous-sols calcaires ou des roches éruptives plus ou moins décomposées. Au contraire, le moulage d'une galerie implique que l'on ait affaire à un matériau plastique, c'est-à-dire argileux et suffisamment humide (de STEMPOVSKI 1936, HENIN et MONNIER 1956).

Ceci étant posé, on comprend alors qu'il ne suffit pas de faire passer sur un terrain une sous-soleuse ou une charrue-taupe pour y faire un sous-solage ou un drainage. Une sous-soleuse passée sur un terrain argileux suffisamment humide y trace une galerie qui fonctionnera comme un drainage-taupe, l'inconvénient de la méthode est que la galerie est alors mal faite ce qui semble réduire sa durée. De même, une charrue-taupe passée dans une terre argileuse sèche ou dans un matériau friable fera un effet de sous-solage, mais la galerie sera mal tracée et les fragments de terre ou de roche auront tendance à retomber et à l'obstruer. On comprend alors l'utilité de traiter ces deux sujets comparativement.

Il importe maintenant de préciser l'efficacité réelle, les avantages et les inconvénients de ces deux techniques culturales.

Traditionnellement, on estime ces opérations utiles ; or à la suite d'essais récents on s'est rendu compte qu'elles étaient très loin de constituer des panacées, que leur utilité ne se manifestait que dans des milieux bien définis et à condition de suivre un mode opératoire bien précis. Au cours de ces dernières années, nous avons procédé à quelques expériences et surtout à l'examen systématique d'une série de champs auxquels on avait appliqué l'une ou l'autre de ces techniques.

Dans tous les cas, on a ouvert deux ou trois tranchées ayant une profondeur supérieure à l'épaisseur travaillée. Puis par des grattages on a fait réapparaître les fissures naturelles du sol effacées par l'action des outils qui avaient servi à ouvrir les fosses. Il devenait alors possible d'ap-

précier l'état du terrain et, connaissant la date à laquelle l'opération avait été effectuée, de juger de la permanence de l'effet produit. Afin de permettre des comparaisons, nous nous sommes efforcés de chiffrer cet effet. Suivant le cas, drainage ou sous-solage, on a établi une gamme de comparaisons. Les sols les plus modifiés ont reçu la note la plus basse. Par exemple, une galerie très bien conservée a reçu la note 1. Au contraire, quand l'effet du travail n'était pas discernable on l'a caractérisé par la note la plus élevée, 7 pour le sous-solage, 8 pour le drainage. Des échantillons de terre étaient alors prélevés et caractérisés par les deux procédés suivants :

Tout d'abord, l'analyse granulométrique permettant de rendre compte d'une manière générale de la constitution du sol. Celle-ci ne semble pas d'ailleurs être d'un très grand secours, sauf pour éliminer quelques cas extrêmes.

Le deuxième test a consisté à évaluer la stabilité structurale, c'est-à-dire la résistance du sol à l'action de l'eau. Cette technique récemment mise au point par le Laboratoire des Sols (HENIN, MONNIER, COMBEAU, 1958) est maintenant connue d'un certain nombre de laboratoires, tant officiels que privés, si bien que des agriculteurs peuvent faire étudier leur terrain suivant ce procédé. Nous verrons que l'efficacité du sous-solage est en général très faible et pratiquement indépendante de la granulométrie de la terre fine, ou de sa stabilité structurale. Par contre, il existe une relation très nette entre la durée des galeries tracées par la charrue-taupe et cette dernière propriété.

Rappelons que le test général consiste à effectuer une série d'analyses d'agrégats, c'est-à-dire d'analyses granulométriques sans dispersion après que divers échantillons d'un même sol ont été imbibés ou non par divers liquides organiques. L'ensemble des résultats analytiques obtenus à l'aide de cette première série d'essais sert à calculer un indice d'instabilité structurale S. Comme il varie beaucoup, on utilise souvent le logarithme décimal de 10 S.

L'expérience montre que pour juger du comportement des sols au drainage-taupe l'indice d'instabilité structurale ou son logarithme suffisent. Nous allons étudier maintenant l'ensemble des observations effectuées sur des champs traités par ces deux méthodes.

II. — SOUS-SOLAGE

Comme nous l'avons signalé dès notre introduction, le sous-solage présente deux aspects différents suivant que l'on a affaire à un matériau plus ou moins argileux : plastique à l'état humide, cohérent à l'état sec, ou à un matériau friable ; sous-sol calcaire, roche éruptive plus ou moins décomposée, alios. Nous traiterons séparément ces deux questions.

IIa. — SOUS-SOLAGE EN TERRAIN PROFOND

A. — Introduction. Résultats d'études antérieures.

Dans ce cas l'opération doit être conduite sur un sol suffisamment sec pour qu'il se divise, qu'il se fragmente, lors du passage de l'outil. Si l'on examine l'aspect du terrain immédiatement après le passage de la sous-soleuse, il présente là où est passée la tête ou l'obus terminant la pièce

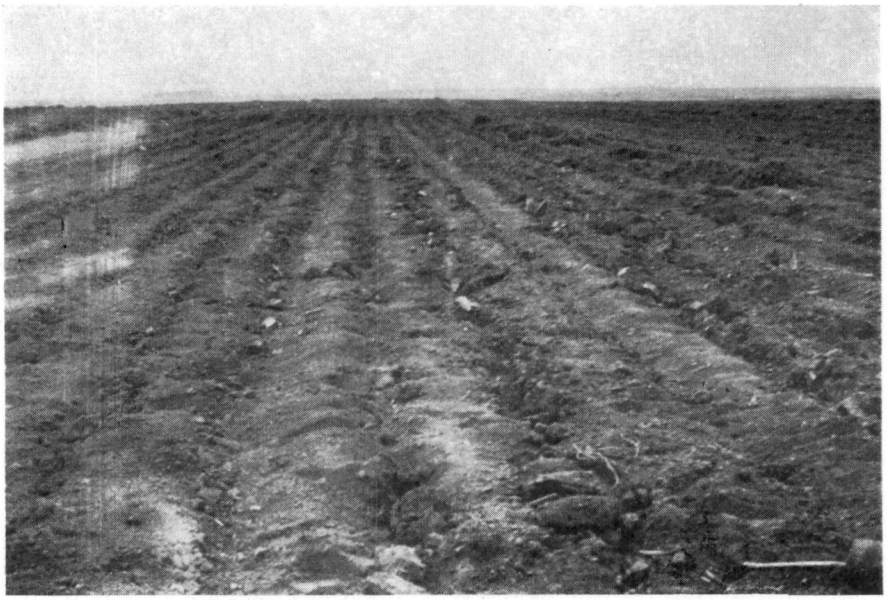


FIG. 1. — LOUDIMA (A. E. F.). Sous-solage effectué par temps sec en terre argileuse (40% argile). Vue générale. — Noter le foisonnement du sol de part et d'autre de la saignée. (Cliché pris immédiatement après l'exécution du sous-solage.)

travaillante, une galerie à partir de laquelle s'amorcent deux plans faisant un angle de 30 à 40° avec l'horizontale remontant vers la surface. Dans le volume ainsi défini, la terre est fragmentée, ameublie et la surface du terrain présente un bombement au-dessus de la zone travaillée. Les figures 2 et 3 montrent une coupe de terre immédiatement après un sous-solage dans un terrain déjà un peu humide pour la figure 3. Quant à la figure 2, il s'agit d'un sol très argileux du Congo qui vient d'être sous-solé en période sèche. Dans les deux cas, on peut constater la fragmentation du sol en éléments de tailles très variables, plus grossiers dans le sol congolais. Par contre, dans les deux cas, une certaine quantité de terre fine remplit les lacunes existant entre les mottes importantes ; l'aspect du travail se montre ainsi très satisfaisant et il semble bien que les racines devraient profiter de ce nouvel état.

FIG. 2. — Détail d'une coupe de terrain sur le même sous- solage. Noter le mélange de la terre fine et des gros blocs disloqués par le coûtre.

FIG. 3. — Sous-solage venant d'être exécuté. — Noter la galerie creusée par le soc et la structure brisée du sous-sol.

Le tableau I qui relate une série d'essais culturaux effectués avec et sans sous-solage montre que les accroissements de rendement ainsi obtenus sont très faibles et parfois nuls (HENIN, 1957). On peut se demander quelle est la raison de cet état de fait. C'est pourquoi nous avons procédé à un examen systématique d'une série de champs sous-solés pour établir dans quelle mesure la modification introduite par l'outil persistait.

TABLEAU I

Influence du sous-solage sur le rendement.

Témoin	Avec sous-solage	Profondeur en cm	Remarques
100	104,1	+ 7	Betteraves 4 ans (Belgique)
100	92	(60)	Betteraves fourragères (France)
100	100		Betteraves sucrières (Angleterre) 2 ans
100	100	(50)	Grain, blé 1 an (France)
100	92	+ 10	Grain, blé 2 ans (France)

B. — Étude de sous-solages récents effectués en France.

1. — Nature des terrains sous-solés.

Les observations des effets du sous-solage ont été pratiquées chez des cultivateurs de diverses régions de France. Ainsi, pendant les campagnes 1956 et 1957 treize sous-solages qui avaient été effectués en Sologne, en Saône-et-Loire, dans la Région Parisienne et dans la Sarthe ont été examinés. A cette diversité des régions correspond d'ailleurs une grande variété de sols allant des types très fortement argileux (et excessivement hétérogènes) en Sologne, argileux compacts en Sologne, limons argileux dans la Région Parisienne et en Saône-et-Loire, sols sableux dans la Sarthe. Les teneurs en argile vont de 6 à 81 p. 100, les teneurs en limon sont généralement comprises entre 5 et 25 p. 100. Par voie de conséquence, les teneurs en sables sont également très variables et il n'est pas de donnée unique permettant de caractériser les sols sous-solés du point de vue de leur granulométrie. La détermination de la stabilité structurale, au contraire, montre que la plupart de ces sols ont des propriétés voisines qui permettent de les ranger dans la classe des sols de stabilité structurale moyenne. (Cf. Graphique I.)

2. — Observations sur le terrain.

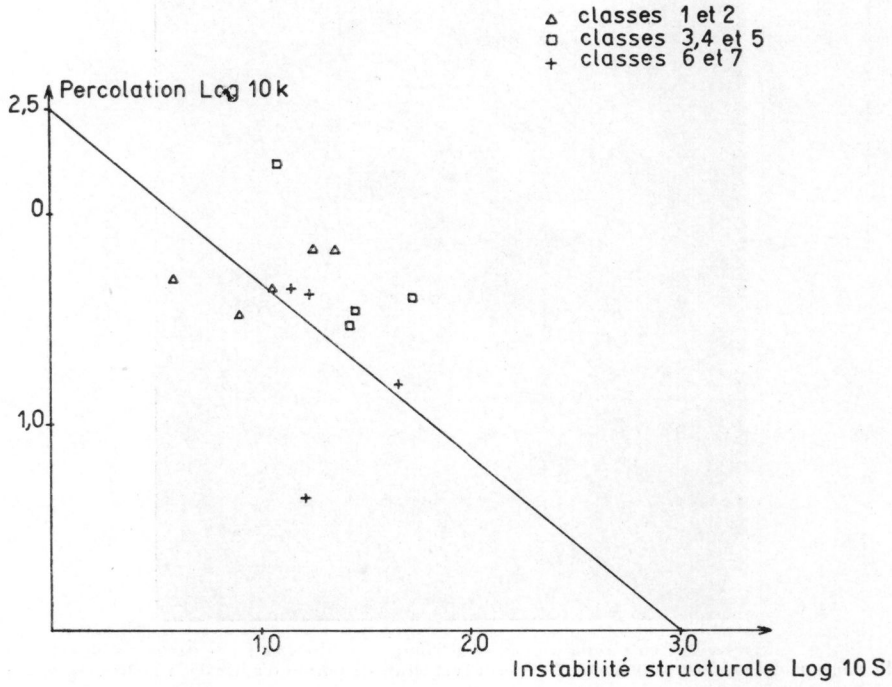
Presque tous ces sous-solages correspondent à des opérations qui ont été effectuées dans les conditions normalement requises, à savoir dans la période la plus sèche de l'année.

Au moment de l'examen du sous-sol, nous avons été à même de constater la persistance des effets du travail, compte tenu de son ancienneté,

c'est-à-dire du temps séparant l'exécution du travail de l'observation. Le tableau suivant résume l'âge des travaux étudiés.

Nombre de sous-solages	Ancienneté (en années)
5	1 1/2
4	1
1	1 1/2
2	2
1	2 1/2

Par conséquent la plupart des observations ont été faites sur des travaux relativement récents. Malgré cela les effets du sous-solage sur



Graphique 1. — Sous-solage en terrain profond. Stabilité structurale.

la structure sont toujours peu marqués, souvent inobservables, ainsi qu'en témoigne le tableau suivant.

Nombre d'essais	Effet sur la structure	Classes
5	visible	1 et 2
4	peu visible	3, 4 et 5
4	inexistant	6 et 7

Quelques exemples permettront d'illustrer les différents cas rencontrés.

Sous-solage a effet visible

Propriété de M. Robin à Milliancay en Sologne, lieudit « La Fauconnière ». Le sous-solage a été effectué en été 1954 dans une terre très fortement argileuse. En été 1956, les raies du coutre sont encore visibles à

Fig. 4. — Sous-solage en terrain profond. La fissure a été dégagée au couteau car elle était localement obstruée. On ne voit pas d'effet sur la stucture de part et d'autre de la fissure. (Sologne.)

la surface du sol qui est resté en friche. A cette même époque, on constate que l'humidité du sol est plus faible dans la saignée du sous-solage que dans le sol environnant.

	Humidité %	
Profondeur en cm	Dans la saignée	Entre deux trais de sous-solage
7 - 10	15,3	17,5
35	23,8	31,9
48	23,1	33,2

Au mois de mars 1957 l'examen du sous-sol révèle que la fissure pratiquée par le coutre est encore visible (fig. 4). Elle est néanmoins

obstruée de place en place, formant des poches plus ou moins pleines d'eau qui suinte à l'orifice de la fissure (fig. 5). Les parois de la fissure sont lissées et la terre immédiatement voisine présente une schistosité. Il n'y a pas d'effet général sur la structure entre les passages de la sous-soleuse. Il n'y a pas non plus d'effet visible sur l'enracinement.

FIG. 5. — Sous-solage en terrain argileux. Le passage du coûtre a laissé une galerie irrégulière. On voit l'eau s'écoulant à la sortie.

SOUS-SOLAGE A EFFET PEU VISIBLE.

Le sous-solage a été effectué à la Ferme Ecole de Maisonnette, en Sologne, durant l'été 1955. Le sous-sol est argilo-sableux, fortement hydromorphe. Une observation faite en été 1956 ne permet pas de localiser le travail avec précision. On ne voit pas d'enracinement préférentiel dans les zones sous-solées. Cependant, à la fin de l'hiver 1957, on constate que le trait de sous-solage est maintenu par place et fait office de drain.

SOUS-SOLAGE A EFFET INEXISTANT.

Ferme Ecole de Fontaines, en Saône-et-Loire. Sous-sol très lourd, essentiellement argilo-limoneux. Le sous-solage a été fait en 1957. Un an plus tard, on ne retrouve dans le sous-sol aucune trace du travail.

Ces trois exemples montrent que, dans le cas de terrain profond, l'effet du sous-solage ne se marque pas par une modification de la structure du sous-sol, mais par la persistance plus ou moins longue d'un canal ou d'une fissure à parois lissées (fig. 6). Cela tient au fait que même lorsque

FIG. 6. — Sous-solage d'un an. On voit la paroi de la galerie lissée par le passage de la pièce travaillante. Mais la galerie est presque complètement obstruée.

le travail était effectué en saison sèche, les couches profondes sont encore humides et plastiques et le soc de la sous-soleuse produit l'effet d'un mauvais drain-taupe. Ainsi peut-on retrouver dans le canal un chevelu radiculaire (observé chez M. Proffit en Seine-et-Marne) ou une humidité légèrement plus élevée (ferme de l'I. N. R. A. à la Minière). Notons, que dans certains cas, le sous-solage a eu un effet nettement dépressif, en particulier lorsque le travail a été effectué au printemps dans une prairie et a provoqué la rupture des racines.

Ainsi le fait que l'on n'ait jamais observé d'effet marqué, montre que les cas favorables doivent être très rares.

C. — Conclusion.

On peut conclure de ces observations que les effets du sous-solage durent peu de temps et que de ce fait leur influence sur la végétation est nécessairement limitée. C'est d'ailleurs ce qui résulte en général des expériences culturales. On ne signale que très accidentellement des augmentations de rendement notables et toujours dans l'année qui suit l'exécution de la façon culturale. On peut attribuer ces effets à une meilleure utilisation de l'eau du sous-sol et nous avons constaté sur le terrain que l'humidité du sol était parfois plus élevée aux environs immédiats des traces laissées par la façon culturale. Cet état n'intéresse qu'un volume de terre réduit. Toutefois, des essais effectués à l'École des Barres par les ingénieurs des Eaux et Forêts ont montré que de jeunes arbres plantés le long de la ligne sous-solée avaient bénéficié du travail profond du sol dont l'humidité avait d'ailleurs augmenté. Cette observation n'a toutefois porté que sur un an.

On peut donc conclure que le sous-solage en terrain profond est généralement peu efficace. Les exceptions correspondent à des circonstances particulières et au comportement hydrique du milieu.

Toutefois, il semble que si en plus du sous-solage on injecte en profondeur une fumure supplémentaire le végétal en profite. Les augmentations de rendement peuvent être alors considérables, la récolte pouvant doubler. Ces observations ont été effectuées sur maïs aux Etats-Unis.

Il importe de souligner que le sous-solage peut êtte non seulement inutile, mais par surcroît néfaste. En zone très humide (mouillère), il peut disloquer le sous-sol ce qui rend le passage des tracteurs et des voitures impossible tout en accentuant la zone affectée par l'excès d'humidité. Rappelons également qu'en dépit de son existence temporaire, la galerie mal formée, ouverte par la tête de sous-soleuse, peut provoquer des accumulations d'eau dans certaines parties du terrain ce qui les transforme en mouillères. Lorsqu'on fait un sous-solage, il faut donc le faire déboucher dans un fossé et prendre les précautions analogues à celles que nécessite le drainage-taupe, quoique l'on ne soit pas obligé de les appliquer avec les mêmes rigueurs.

II*b*. — SOUS-SOLAGE EN TERRAIN DUR

Par opposition avec ce qui se passe dans les terrains profonds, le sous-sol présente ici une couche naturellement friable. La dépense d'énergie peut être plus considérable, mais le résultat semble plus assuré. L'effet du sous-solage se manifeste pendant plusieurs années. Si la zone durcie apparaît assez près de la surface, le bénéfice que l'on peut en

tirer est évident. Toutefois, nous allons voir que celui-ci n'est pas très considérable et que par surcroît, comme dans le cas des terrains profonds, la méthode présente des contre-indications.

Observations sur le terrain :

Deux expériences ont été effectuées en terrain dur, l'une dans les Landes sur sol présentant une couche durcie par des hydroxydes de fer (alios), l'autre près de Sainte Menehould sur rendzine à sous-sol calcaire.

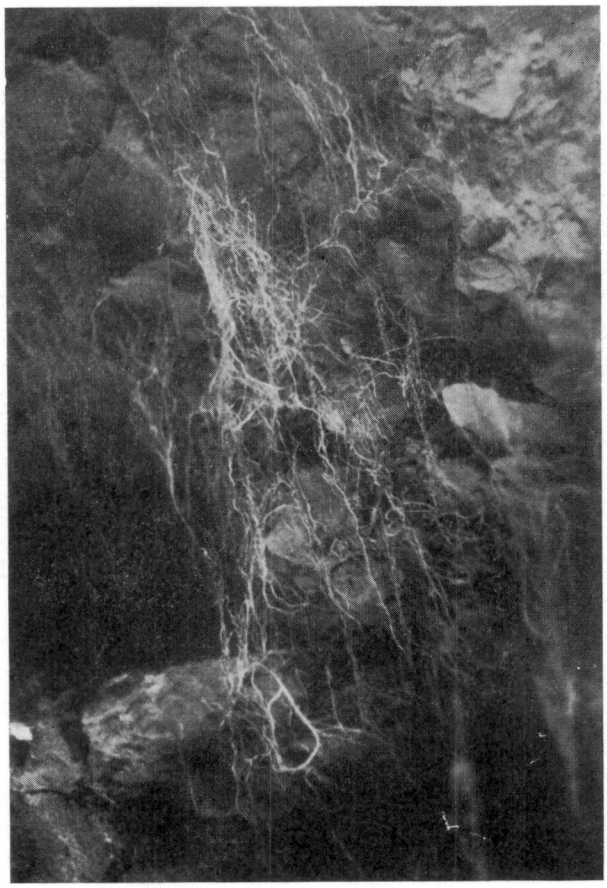


FIG. 7. — Effet du sous-solage sur sol à couche d'alios. — Noter la pénétration des racines dans la zone brisée par le passage de la sous-soleuse.

Dans les Landes, l'expérience effectuée par un C. E. T. A a consisté à sous-soler une lande sèche et une lande humide. Le travail a été effectué en 1954. Un premier examen des résultats obtenus en 1955, année relativement sèche, a montré une augmentation des rendements dans les zones sous-solées. Corrélativement, on pouvait observer dans les pro-

fils que les racines de maïs pénétraient dans les fissures pratiquées dans l'alios par le sous-solage et allaient s'installer dans la couche sableuse sous-jacente (fig. 7). Au contraire, dans les parcelles non sous-solées, les racines s'arrêtent net au-dessus de l'alios. De plus, en 1955, on a noté une augmentation des rendements (+ 5,2 q/ha) en lande humide et en lande sèche (— 1,6 q/ha) une diminution. Cependant, en 1956, année humide, c'est l'inverse qui a été constaté, le plan d'eau est remonté à travers les traits de sous-solage, ce qui a provoqué un effet dépressif et une baisse de rendement dans la lande humide sous-solée. Sur trois années d'observation le résultat est nettement positif.

FIG. 8. — Effet du sous-solage en terrain à calcaire dur. Au centre, la roche a été brisée et les racines d'orge descendent. A droite la roche n'a pas été brisée. Les racines sont arrêtées.

La deuxième expérience est menée dans un sol de rendzine sur le domaine de M. Dessoutter près de Sainte-Menehould.

Ce sol a une couche arable peu épaisse (10 à 20 cm), relativement riche en matière organique (plus de 3 p. 100) et ayant de l'ordre de 50 p. 100 d'éléments fins, inférieurs à 20 microns. Le sous-sol calcaire est très caillouteux et hétérogène de par la dimension et le nombre des débris.

L'expérience a mis en parallèle divers travaux du sol : labour superficiel, labour profond, déchaumage et sous-solage. Les travaux du sol ont été exécutés en décembre 1956. Au printemps, une orge, puis une luzerne ont été semées. Au début de l'été 1957, l'examen du sous-sol a nettement montré que l'enracinement de l'orge est plus profond dans les bandes sous-solées, les racines pénètrent dans les couches de calcaire disloquées par les pièces travaillantes (fig. 8). Ceci laissait espérer une

augmentatkion de rendement, d'autant plus que le calcaire a une forte capacité de rétention pour l'eau (de 25 à 35 p. 100). Cependant, les pesées de la récolte d'orge ont montré que les divers traitements du sol n'ont pas amené de différences significatives entre les récoltes. Le sous-solage, en particulier, n'a pas donné d'augmentation de rendement. Néanmoins, l'expérience est en cours avec la luzerne et il faut attendre encore plusieurs années avant de pouvoir se prononcer définitivement.

IIc. — CONCLUSION GÉNÉRALE SUR LE SOUS-SOLAGE

Le sous-solage est donc une opération généralement peu efficace en terrain meuble, mais qui peut dans les terrains présentant des couches durcies en profondeur présenter un certain intérêt.

Toutefois d'après l'ensemble des résultats parus dans la littérature, cette technique donne des augmentations de rendement très nettement inférieures à l'application superficielle d'une bonne fumure. C'est seulement dans les terrains argileux, présentant un sous-sol difficilement pénétrable par les racines, que l'introduction jusqu'à environ 50 cm d'une fumure complémentaire peut donner des accroissements de rendement vraiment intéressants. Même dans ce cas, les effets produits durent peu.

TABLEAU II

Effets du sous-solage sur le rendement d'après W. K. ROBERTSON.

Rendement en maïs
Quintaux /hectare

Types de sols	Traitements			
	engrais et amendement enfouis dans le sous-solage	engrais et amendement en couverture	sous-solage seul	Témoin
Sol sableux à croûte dure profonde brisée par le sous-solage.....	50,2	48,2	44,0	37,5
Sol sableux sur croûte dure assez superficielle	43,6	47,7	37,3	31,7
Sol sableux profond pauvre.....	18,4	20,2	14,4	14,1
Sol profond argileux en surface..	27,3	28,0	25,6	25,1

Nota. — Les rendements se rapportent à l'année du traitement.

D'autre part, il est indispensable si l'on veut éviter de graves mécomptes de ne pas sous-soler les zones très humides sans étude préalable et d'assurer de toute façon un bon écoulement de l'eau, s'il venait à se produire.

Etant donné que certains résultats favorables ont été obtenus on ne peut pas proscrire définitivement le sous-solage, mais les résultats nuls ou négatifs sont si fréquents qu'il est nécessaire de recommander la plus grande prudence quant à l'emploi de cette technique et de ne pas inciter les agriculteurs à l'utiliser si l'on n'a pas défini par des expériences précises et suffisamment étendues les conditions d'utilisation et la rentabilité de la technique dans une région donnée.

III. — LE DRAINAGE-TAUPE

A. — Introduction

Alors que le but recherché du sous-solage est un approfondissement du sol, le drainage-taupe est par définition destiné à assainir des terres trop humides. Les galeries pratiquées dans le sous-sol sont appelées à jouer le rôle de tuyaux de drainage.

L'efficacité de cette pratique a été souvent discutée (NICHOLSON, 1934). Dans certains pays, le drainage-taupe a été subventionné, puis la subvention a été abandonnée, probablement pour manque de rentabilité (JANERT, 1933). Dans d'autres pays, le drainage-taupe a toujours des protagonistes. Comme il semble difficile d'appliquer d'emblée des résultats souvent contradictoires obtenus dans des conditions de sol et de climat différentes, nous avons procédé à l'étude d'un certain nombre de drainages-taupe effectués en France.

B. — Étude de drainages taupe effectués en France.

1° Nature des terrains drainés.

Depuis le printemps 1957, il nous a été donné d'étudier vingt-quatre drainages-taupe répartis dans des régions et des sols assez différents. Une grande majorité a été observée dans les sols argileux de Bresse grâce à l'obligeance de l'Ingénieur des C. E. T. A. D'autres résultats proviennent de la ferme de l'I. N. R. A. à Bouran (Lot-et-Garonne), de Saône-et-Loire, de la Sarthe et de Sologne.

Les sols observés ont généralement une granulométrie fine. Sur 24 prélèvements 18 ont un pourcentage en argile compris entre 25 et 50 p. 100 ; un seul a plus de 50 p. 100 d'argile et les autres ont entre 10 et 25 p. 100. La teneur en limon est également élevée et dans treize cas elle dépasse celle de l'argile. La teneur en sables (supérieurs à 50 μ) est presque toujours inférieure à 35 p. 100 et ne dépasse 50 p. 100 que pour les terres de la Sarthe. La fraction 20-50 μ est donc souvent importante et varie généralement entre 20 et 35 p. 100.

2° Observations faites sur le terrain.

Les travaux ont été exécutés en général depuis 1953 et au moment de l'examen du sous-sol la durée moyenne des drains était donc de 4 ans. Quelques descriptions permettront d'illustrer les effets du drainage-taupe dans le sous-sol.

a) Drainage-taupe très bien conservé (F 156 et F 157).

Observation faite chez M. Germain à Cormoz (Ain). Le travail a été effectué en 1953 dans une prairie à sol et sous-sol argileux. Les drains

Fig. 9. — Drainage-taupe en Bresse. Galerie bien conservée.

ont comme exutoire un fossé protégé du piétinement des bêtes par une clôture. Une pente relativemect douce, mais régulière, a probablement favorisé un bon écoulement des eaux. De toute façon, la prairie est homogène et saine.

L'examen du sous-sol montre une galerie très bien conservée, à parois bien lisses (fig. 9).

b) Drainage-taupe moyennement conservé.

Le travail a été effectué chez M. Billoud à Bény (Ain) et remonte à 1954. Les galeries ont été moulées sous une prairie à forte pente et débouchent dans un fossé non protégé.

Une tranchée effectuée à mi-pente a mis en évidence la galerie dont les parois sont facilement reconnaissables par leur lissage et l'orienta-

tion concentrique des couches de terre à proximité immédiate. Cependant intérieurement la galerie est presque complètement bouchée par un dépôt, qui se trouve être de même composition granulométrique que la paroi du drain (fig. 10 et 11).

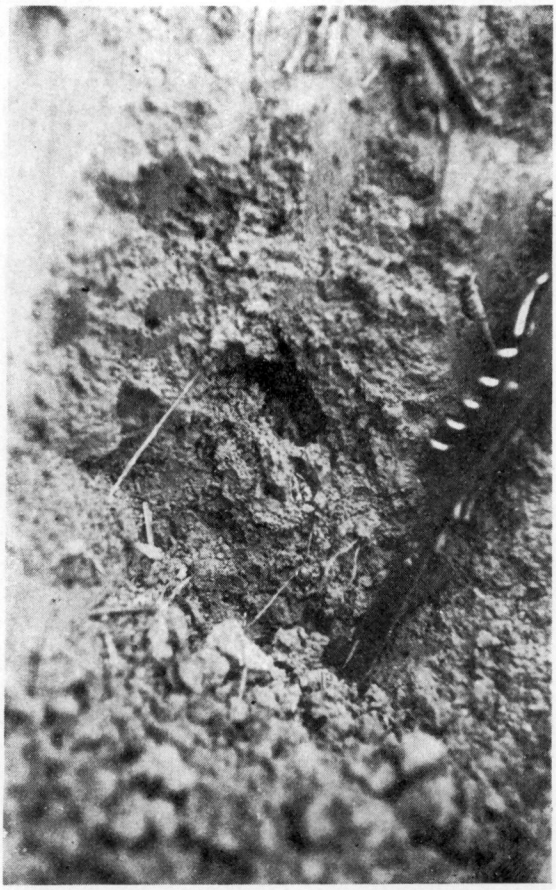


FIG. 10. — Drainage-taupe. Galerie partiellement obturée par effondrement du sol.

c) DRAINAGE-TAUPE MAL CONSERVÉ (F/169).

Effectué en 1956 dans le sol de boulbène de la ferme expérimentale de Bouran (Lot-et-Garonne), le drainage-taupe n'avait laissé aucune trace dans le sous-sol qui était déjà complètement colmaté en 1957.

On voit que les résultats obtenus par le drainage-taupe sont très variables ainsi que le montre le tableau suivant :

Nombre de drainages-taupe	Maintien de la galerie dans le sol
10	Bien maintenue
7	Partiellement bouchée ou effondrée
7	Totalement (ou presque) bouchée ou effondrée

Ainsi dans un nombre de cas non négligeable les drains sont peu ou pas fonctionnels.

Causes d'obturation des galeries.

Dans la plupart des cas la galerie de drainage est bouchée à sa sortie dans l'exutoire ce qui est imputable au passage des animaux et à une

FIG. 11. — Drainage taupe. Galerie presque complètement obturée par un dépôt. Le contour de la galerie est net.

protection insuffisante de l'orifice du drain. Mais la galerie peut être également bouchée sur son parcours par un produit de comblement qui semble parfois à première vue différent par sa texture granulométrique de la paroi du drain. Mais en fait l'étude au laboratoire montre que presque dans tous les cas la somme des éléments fins du dépôt est très voisine de celle de la paroi de la galerie en place. Cela indiquerait que le comblement a été produit par un effondrement en place des parois de

la galerie. Ce mécanisme est d'autant plus vraisemblable que les terrains prospectés sont vallonés et que la granulométrie varie sensiblement d'un point à un autre ce qui permettrait de distinguer les produits de colluvionnement. Dans un cas cependant, il semble bien que nous soyons en présence d'un comblement dû à un colluvionnement ; à l'aval d'un drain le dépôt a une granulométrie fort différente de celle de la paroi avoisinante, mais fort proche de celle de la paroi du même drain située légèrement en amont.

Mais de toute façon la pente absolue de la galerie a une grande importance pour le débit d'évacuation des eaux drainées et par voie de conséquence pour l'érodibilité des parois et la possibilité de dépôt. A cet égard, il faut signaler que les outils portés, dont le réglage en profondeur est difficile, peuvent créer sur le tracé du drain des dénivellations favorisant la sédimentation et le bouchage. Cette considération explique l'observation suivante : en ouvrant une galerie de drainage, on crève une poche d'eau bien délimitée qui se vide, puis l'écoulement s'arrête ; dans ce cas on est en présence d'un travail défectueux. Enfin, il semble que dans les zones très humides, le produit de comblement soit plus riche en oxydes de fer que le sous-sol en place, et, par ailleurs, les produits de comblement sont considérablement enrichis en matière organique par rapport au sol en place. On peut imaginer que le dépôt joue le rôle d'un filtre vis-à-vis des matières organiques solubles entraînées par les eaux de drainage.

Aspect intérieur de la galerie. Son utilisation.

Les galeries bien conservées se présentent avec des parois lissées ; la terre qui a été écartée de force par la pièce travaillante forme des auréoles autour de la cavité. Cette dernière est parfois colonisée par des racines, ceci se voit en particulier sous des prairies anciennes et indique que la galerie offre de bonnes conditions d'aération (fig. 12). Des animaux peuvent également s'installer dans les galeries et des fouisseurs pratiquer des diverticules à partir de la galerie faite par l'outil.

Effet du drainage-taupe sur les cultures.

La plupart des travaux ont été effectués dans les prairies et les rendements n'étaient pas suivis. De plus, le drainage-taupe n'a pas fait l'objet d'une expérimentation proprement dite avec parcelles témoins. Enfin, des facteurs multiples et distincts de la conservation de la galerie interviennent sur l'efficacité du travail. Ce sont, l'homogénéité du sous-sol, la pente des drains, leur écartement... Il n'a pas été possible de faire intervenir tous ces facteurs dans une première étude. Par conséquent, l'évaluation précise de l'effet du drainage-taupe sur le rendement est

délicate, d'autant plus qu'un drainage-taupe est souvent accompagné d'une application importante d'engrais. Cependant, on peut noter les avantages suivants : disparition de certaines plantes adventices (joncs,

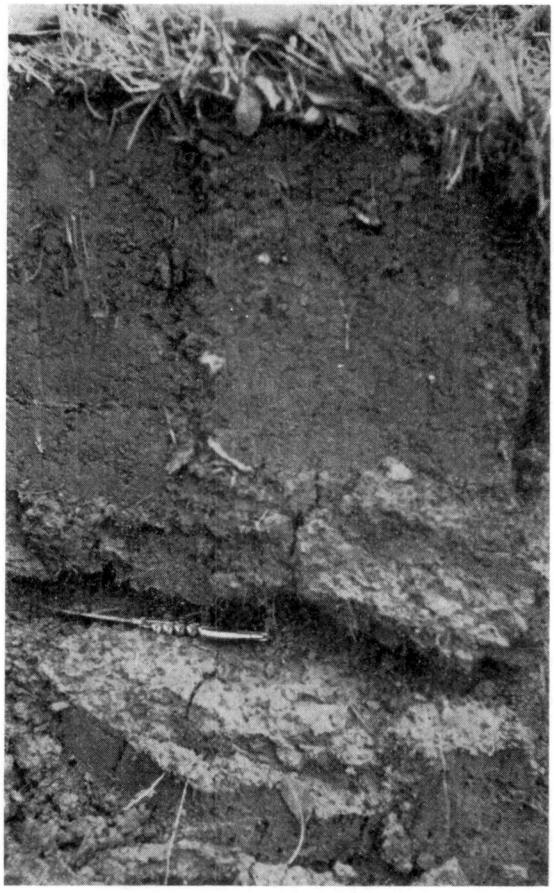


FIG. 12. — Drainage-taupe. Coupe longitudinale d'une galerie bien conservée. Noter la présence de racines dans la galerie.

carex), meilleure circulation sur le terrain, en particulier pendant les périodes humides, foins de meilleure qualité (odeur, composition botanique).

C. — Appréciation des propriétés des sols devant recevoir un drainage-taupe :

Nous venons de voir que les drains persistent plus ou moins longtemps dans les sols suivant leur nature. Nous avons essayé de caractériser ceux-ci par leur analyse granulométrique. L'expérience montre qu'il

n'y a pas pratiquement de corrélation entre la constitution des sols et la durée des galeries. Il faut, toutefois, interpréter correctement ces résultats et cette conclusion veut dire que là où les agriculteurs ont cru pouvoir faire un drainage-taupe, il n'y a pas corrélation entre ces propriétés. Par contre, il est bien certain qu'en terre sableuse, le drainage-taupe ne tient jamais, mais ce fait est bien connu et personne ne songe alors à employer cette technique. Si nous avons soin de discuter cet aspect du problème c'est qu'il peut arriver que des terres en moyenne argileuses présentent par place des veines sableuses, on ne peut pas effectuer un drainage dans ces conditions, à moins que l'écoulement à travers la zone sableuse ne soit assuré. Ce fait est toutefois peu probable, car il y a de fortes chances pour qu'au voisinage de la zone sableuse l'accumulation des sédiments entraînés dans la partie argileuse, donc restée ouverte, de la galerie ne vienne obturer le dispositif.

Le drainage-taupe doit donc être effectué dans des sols ayant une teneur en argile suffisante pour être plastique. Approximativement, il faut envisager un minimum de 15 à 20 p. 100 à condition que le sable soit assez fin et probablement plus si le sable est grossier.

Nous avons alors cherché à établir une corrélation entre la durée des drains et la stabilité structurale de la terre. Rappelons que cette dernière technique consiste à faire une série d'analyses d'agrégats. On en tire un certain coefficient S qui mesure l'instabilité de la terre. On fait en outre des mesures de perméabilité sur le sol remanié et dans des conditions bien définies, on en déduit un second coefficient K. On peut réduire ces deux tests au seul indice σ.

TABLEAU III

Stabilité structurale et texture.

Classes extrêmes de drainage-taupe.

Classe	Echantillon	Stabilité structurale			Analyse mécanique % de terre sèche					
		log 10 S	log 10 K	Indice σ	Matières organiques	Argile	Limon	Sable 20-50 µ	Sable 50-200µ	Sable grossier 0,2 — 2 mm
1	F 98	1,21	1,16	1,32	1,31	21,2	30,0	18,8	13,6	6,1
	F 156	0,85	1,41	1,60	1,86	22,8	32,0	22,5	12,8	8,0
	F 157	1,16	1,08	1,30	1,33	26,6	37,8	17,2	9,0	8,1
	F 170	0,87	1,78	1,78	0,77	30,3	8,6	6,1	21,8	32,4
	F 171	1,04	1,50	1,57	0,37	27,2	7,8	9,4	24,2	31,0
7 et 8	F 96	1,79	0,69	0,85	0,74	19,6	33,1	33,5	8,0	5,1
	F 158	1,39	1,16	1,18	1,09	11,2	40,8	27,6	11,4	7,9
	F 159	1,50	0,93		0,54	19,9	33,9	28,9	9,2	7,6
	F 169	1,74	0,92	0,99	0,49	30,5	25,2	56,2	8,9	8,7

Corrélation entre l'état des drains et les tests de laboratoire.

La corrélation entre les classes allant de 1 pour les meilleurs à 8

pour les plus mauvais (note de qualité C) et le coefficient d'instabilité S est significative (F = 14,31) et assez étroite (r = 0,62).

C (note de qualité) = — 0,70 + 3,70 S (exprimé en Log 10 S).

La formule générale de régression multiple entre ces valeurs est :

C = 2,97 — 1,86 K + 2,61 S.

Si l'on calcule la régression de S seul, on trouve une variance de 46,24 avec un test F de 14,33.

Cela indique que pratiquement, on peut se limiter à la détermination de S pour prévoir la longévité d'un drain-taupe. Cette étude statistique montre que l'état de conservation du drain C et le test d'instabilité du drain sont en bonne corrélation, c'est un résultat d'autant plus notable que l'évaluation de la classe de conservation est basée sur un examen qualitatif, donc subjectif.

D. — Conclusions concernant le drainage-taupe :

Le drainage par charrue-taupe est une méthode qui permet, dans certains cas, d'assurer économiquement l'assainissement des terres. Il faut pour cela prendre les précautions suivantes :

a) S'assurer au préalable que le sous-sol est suffisamment argileux et homogène. Que la stabilité structurale est suffisante. Un certain nombre de laboratoires connaissent la technique permettant de porter cette appréciation.

b) Le tracé des drains doit être extrêmement soigné. La pente doit être comprise entre 3 p. 1.000 et 3 p. 100, elle doit être constante ou croissante, mais ne jamais diminuer. Si le terrain présente une zone plate, il faut installer un collecteur pour entraîner l'eau qui risquera de s'accumuler. La distance entre les drains doit être de 2 à 5 m, la profondeur de 40 à 60 cm, le travail sera effectué en terrain humide, sans excès toutefois, pour que les galeries soient bien moulées. L'appareil doit progresser lentement. Enfin, les galeries ne doivent pas avoir plus de 200 m de long.

c) *Les collecteurs* : Le plus commode est de faire déboucher les drains dans un fossé. Celui-ci sera tracé et ouvert avant l'exécution du drainage et l'on fera partir les drains du fossé. Si l'existence du fossé est trop gênante, on peut installer un drain de poterie et le recouvrir en partie avec du gravier pour que l'eau puisse s'infiltrer facilement et qu'il n'y ait pas de colmatage par les sédiments.

d) Entretien des fossés : Les fossés doivent être très bien entretenus. L'herbe doit être fauchée afin de maintenir la capacité d'écoulement. Le bétail ne doit pas pouvoir y accéder et le mieux est de mettre quelques rangs de fil de fer, sauf par endroits où l'on ménage des abreuvoirs.

L'entrée des drains doit être garnie d'un élément de tuyaux en pote-

rie. On évite ainsi que les racines des mauvaises herbes ne se développent à cet endroit et que, d'autre part, l'orifice ne soit érodé par suite de l'écoulement de l'eau. Les éléments de poterie sont entrés en force en période humide et il faut de temps en temps, à l'aide d'une baguette de bois ou de métal, disloquer le bouchon de terre qui pourrait se former.

La durée d'un drainage-taupe varie de 5 à 15 ans suivant la stabilité de la terre, la longévité peut être plus grande dans certains cas favorables, mais il est préférable de ne pas en tenir compte.

IV. — CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Il ressort de cette étude que le sous-solage est une opération rarement efficace dont la durée, sauf dans le cas d'alios ou de croûte calcaire, est de moins de un an. On ne peut donc conseiller un sous-solage qu'après avoir fait des essais répétés pendant plusieurs années et qui ne sont valables que pour les types de sols et la région où ils ont été effectués.

La fumure profonde associée au sous-solage paraît efficace dans un certain nombre de cas : verger, culture de maïs, quand le sous-sol est compact et chimiquement pauvre. Là, encore, la valeur de la technique doit être établie par de nouvelles expériences.

Par contre, le drainage-taupe peut être entrepris avec succès dans un certain nombre de types de sols, que l'on peut définir par des mesures de laboratoire, et à condition de s'entourer de certaines précautions lors de l'exécution du travail.

RÉSUMÉ

Une série d'observations faites sur des profils de sol travaillés suivant ces deux méthodes montre que les résultats obtenus sont assez inégaux.

Le sous-solage, comme technique d'ameublissement est peu efficace dans les sols profonds. En effet, l'ameublissement du sous-sol est de courte durée et ne profite pas aux racines. Au contraire, lorsqu'une couche dure s'oppose à la pénétration des racines, le sous-solage, en la brisant, permet une meilleure occupation du sol.

Le drainage taupe peut donner des résultats intéressants s'il est réalisé dans de bonnes conditions. La stabilité structurale du sous-sol est une des conditions essentielles de la réussite. La détermination préalable au laboratoire de la stabilité structurale d'un sous-sol permet de prévoir l'efficacité de l'opération, si les autres conditions (pente, protection des sorties) sont réalisées par ailleurs.

SUMMARY

Mole drainage and subsoiling

Observations made on the profiles of soils cultivated by these two methods show rather different results.

Sub-soiling as a means of loosening the soil is not very efficient in deep soils. The loosening of the subsoil does actually not last long and is of no profit to the roots. On the other hand, if an indurated layer prevent the penetration of roots, the breaking of this layer by sub-soiling permits better root growth

Mole drainage can give good results if done under favourable conditions. The structural stability of the subsoil is an essential requirement for success. Laboratory determination of the structural stability of the subsoil before mole drainage will give information on the possible efficiency of the operation, provided other requirements (slope, protection of the outlets) are otherwise fulfilled.

ZUSAMMENFASSUNG

Untergrundlockerung und Dränieren durch « Maulwurf »-Pflug

Eine Reihe von Beobachtungen, die bei Profilen von nach diesen zwei Methoden bearbeiteten Böden gemacht wurden, zeigt, dass die Ergebnisse ziemlich ungleichmässig sind.

Die Untergrundlockerung, als Auflockerungstechnik ist in tiefen Böden wenig wirksam. In der Tat, ist die Auflockerung des Untergrundes von kurzer Dauer und wirkt sich nicht begünstigend auf die Wurzeln aus. Dagegen, wenn eine dichte Schicht das Vordringen der Wurzeln verhindert, erlaubt die Untergrundlockerung eine bessere Ausnutzung des Bodens, eben durch das Zerschlagen dieser Verdichtung.

Das Dränieren durch « Maulwurf » Pflug kann interessante Ergebnisse bringen, wenn gute Durchführungsbedingungen vorliegen. Die Krümelbeständigkeit des Untergrundes ist eine der Hauptbedingungen für einen Erfolg. Die Laboratoriumsbestimmung der Krümelbeständigkeit des Untergrundes erlaubt es, die Wirksamkeit dieser Bearbeitung vorzusehen, falls die anderen Bedingungen (Gefälle, geschützter Ausfluss) vorhanden sind.

Безотвальная вспашка и кротование.

С. ХЭНЭН и А. Н. ФЕДОРОВ.
Почвенная Лаборатория. Версаль.

РЕЗЮМЕ

Серия наблюдений профилей почв, обработанных по этим методам, показала, что достигнутые результаты не всегда оправдывают ожиданий.

Безотвальная вспашка, как метод разрыхления, не целесообразен в глубоких почвах. Разрыхление глубоких горизонтов не длительно, и то не способствует развитию корией. В почвах же, где твёрдый слой препятствует развитию корней, безотвальная вспашка, разбив этом слой, способствует их лучшему проникновению.

Кротование может быть эффективным если оно совершено в надлежащих условиях. Одним из основных условий для успешного крот-дренажа является прочность структуры. Предварительная оценка в лаборатории структуры нижнего горизонта почвы дает возможность предвидеть целесообразность кротования, при условии достаточного наклона почвы и укрепления стоков.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) HENIN (S.) et MONNIER (G.). — Évaluation de la stabilité de la structure du sol. *Rapports VIe Congrès International de la Science du Sol.* Vol. B. 49-52, 1956.
(2) HENIN (S.), MONNIER (G.) et COMBEAU (A.). — Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. *Annales Agronomiques,* n° 1, 1958.
(3) HENIN (S.) et MONNIER (G.). — Sur le travail profond et sans retournement. des sols. *C. R. A. Ag.*, **42**, 17, 846-852, 1956.
(4) HENIN (S.). — Le problème du travail du sol. Chambres d'Agricultures, t. 28, supplément au n° 129-130, 12 p., 1957.
(5) ROBERTSON (W. K.) etc. — Results from subsoiling and deep fertilization of corn for 2 years. *Sol. Sci. Am. Proc.*, **21**, 3, 340-346, 1957.
(6) DE STEMPOWSKI (M.). — Le drainage à la charrue draineuse. *Mach. Agr. et Eq. rural*, **16**, 101-102, 1936.
(7) NICHOLSON (H. H.). — Durée des drains taupe. *Journ. Agr. Sc.*, **24**, 2, 185-192, 1934.
(8) JANERT (H.). — Land amelioration in Germany. *Imp. Bureau of Soil Sc., Techn. Com.*, n° 27, p. 18, 1933.

CONSIDÉRATIONS PÉDOLOGIQUES ET AGRONOMIQUES SUR LE VAL DE SAÔNE

PAR

Mme S. MERIAUX et G. GILLY*

Station d'Agronomie, Dijon.

PLAN DU MÉMOIRE

I. — Introduction.

II. — Localisation.

1. — Situation géographique.
2. — Aperçu géologique.

III. — Techniques employées.

1. — Analyse granulométrique.
2. — Analyses physiques.
3. — Analyses chimiques.

IV. — Pédogénèse.

1. — Facteurs d'évolution.
2. — Critères d'évolution.
3. — Degré d'évolution.

V. — Granulométrie.

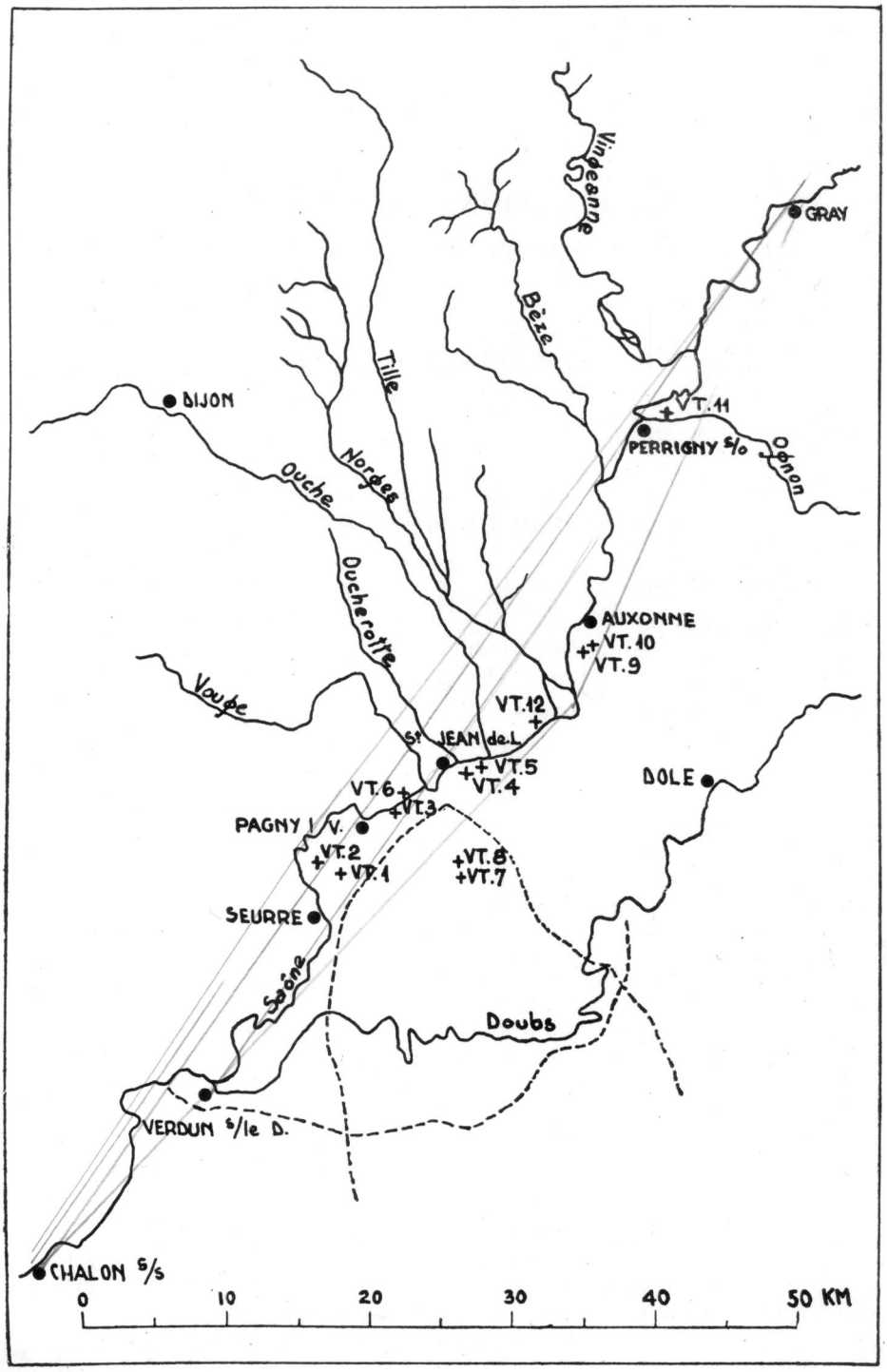
VI. — Propriétés physiques et chimiques.

1. — Propriétés physiques.
   - Porosité totale.
   - Humidité équivalente.
   - Stabilité structurale.
2. — Propriétés chimiques.
   - Matière organique.
   - Capacité d'échange de cations.
   - pH et taux de saturation en bases.
   - Éléments échangeables.
   - Acide phosphorique.

VII. — Considérations générales.

1. — Rappel des principaux types de sols et aptitudes culturales
2. — De quelques problèmes agronomiques.

(*) Avec la collaboration technique de M. B. LAMONTRE.


Vingeanne
Bèze
GRAY
Tille
DIJON
VT.11
PERRIGNY s/o
Ouche
Norges
Ognon
Ouchette
AUXONNE
VT.10
VT.9
Vouge
VT.12
St JEAN de L.
VT.5
VT.4
VT.6
VT.3
DOLE
PAGNY l. V.
VT.2
VT.1
VT.8
VT.7
SEURRE
Saône
Doubs
VERDUN s/le D.
CHALON s/s
0
10
20
30
40
50 KM

I. — INTRODUCTION

Le Val de Saône constitue une région naturelle, nettement individualisée dans le cadre de la Bourgogne, et à première vue, d'une certaine unité. Son agriculture, orientée en partie vers la production herbagère en raison de l'importance des surfaces submersibles par la Saône, offre aussi un aspect de polyculture dans les sols sableux des alluvions anciennes. C'est ainsi que la pomme de terre de féculerie, le maïs et la betterave à sucre y sont largement cultivés, tandis que la région d'Auxonne est spécialisée dans le maraîchage. La petite exploitation (15-25 ha) est de règle.

Dans une première étape, nous nous sommes intéressés à la pédologie du Val de Saône. Ayant ainsi dégagé un certain nombre de types de sols, nous avons été conduits à envisager les répercussions agronomiques de cette étude initiale. Nous avons été encouragés, dans cette nouvelle orientation, par la création, en 1955, de la zone-témoin de Pagny-la-Ville, La Bruyère, Le Chatelet qui traduisait la nécessité d'une revalorisation de ce terroir.

II. — LOCALISATION

1. — Situation géographique.

Les limites du secteur étudié sont indiquées par la carte des régions agricoles françaises établie par l'Institut National de la Statistique et des Études Économiques et le Bureau de la Statistique du Ministère de l'Agriculture. Toutefois, il nous a paru opportun d'étendre notre zone plus en amont pour y inclure les environs de Gray, autrefois prospectés par AUBERT et BETREMIEUX (1).

La région qui correspond à notre travail, représentée sur une carte jointe, à petite échelle, couvre donc environ 80 km de long et au maximum 15 km de large. Cependant, l'étude de la zone ressortissant au département de la Côte-d'Or a été plus approfondie, en particulier celle de la zone-témoin de Pagny-la-Ville, La Bruyère, Le Chatelet.

Le Val de Saône, ainsi délimité, présente l'aspect d'une longue vallée bordée de terrasses.

La plaine alluviale moderne se situe à une altitude qui varie de 188 à 179 mètres aux points extrêmes de notre prospection ; ces deux cotes traduisent bien le régime calme du fleuve actuel.

De part et d'autre de cette plaine, dont la largeur dépasse rarement 3 km, on distingue une succession de terrasses s'étageant de 10 à 40 m au-dessus du niveau de l'étiage.

A une distance variable de 8 à 30 km des rives se dressent les contreforts calcaires des plateaux de Langres et du Jura. De ces deux plateaux descendent respectivement les affluents de la rive droite dont les principaux sont : La Vingeanne, la Bèze, la Tille et l'Ouche, ainsi que l'Ognon, seule rivière importante de la rive gauche avant le confluent du Doubs en aval de Seurre.

2. — Aperçu géologique.

La Saône coule dans l'ancienne dépression bressane, effondrée à la fin de l'Oligocène et comblée par du matériel plio-quaternaire : sables fins et marnes de Bresse du Plaisancien lacustre ravinés partiellement par les sables fluviatiles de l'Astien (sables de Pouilly-sur-Saône), puis recouverts par les formations Villafranchiennes, caillouteuses, à proximité des bordures montagneuses, plus fines au centre de la cuvette.

Un dernier lac, formé par le barrage de la Saône a provoqué le dépôt de couches alternativement argileuses et sableuses connues sous le nom « d'horizon de Saint-Cosme », et trouvées entre autres lieux à Seurre et Montot.

Après l'assèchement de ce lac, la Saône y a creusé sa vallée, en abandonnant des dépôts à des niveaux de moins en moins élevés, en relation avec l'abaissement du niveau de base du Rhône. C'est ainsi que l'on distingue dans les alluvions anciennes les différentes terrasses figurées sur la carte géologique par les symboles suivants :

— *a*) a_1b : niveau de 40-50 mètres des forêts de Longchamp et Citeaux. Il est difficilement différenciable du Pliocène ; il n'appartient plus au Val de Saône et n'est cité que pour préciser le relief des régions bordières.

— *b*) a_1c : terrasse de 27-32 mètres qui comprend des alluvions peu épaisses ennoyées dans les limons. Elle est observable entre Tart-l'Abbaye et Verdun-sur-le-Doubs.

— *c*) a_1d : terrasse de 15-17 mètres dont les formations minces reposent sur l'horizon de Saint-Cosme. Elle se différencie à l'est de la voie ferrée de Seurre à Saint-Jean-de-Losne.

— *d*) a_1e : terrasse de Saint-Usage (10 mètres) composée de sables beige-roux très bien triés. On la distingue nettement au voisinage de cette localité, ainsi qu'entre Seurre et Saint-Jean-de-Losne.

En outre, on distingue, dans les alluvions anciennes, les formations notées a_1 qui ne constituent pas de terrasses visibles. Elles aussi sont sableuses, avec, à leur base, des dépôts grossiers (graviers de fond).

A proximité du cours du fleuve se sont déposées les alluvions modernes (a_2). Ce sont des formations fines correspondant au régime lent du fleuve actuel.

III. — TECHNIQUES EMPLOYÉES

Un certain nombre de déterminations ont été effectuées sur 172 sols et sous-sols du Val de Saône. 36 profils ont été retenus pour une étude plus complète. Leur localisation en cordonnées Lambert est donnée en annexe.

Pour 12 d'entre eux, désignés par les lettres VT, nous donnons les résultats analytiques dans les tableaux I et II. Les analyses ont été les suivantes :

1. — Analyse granulométrique.

Elle est fondamentale car elle fait connaître d'une part la texture du sol, d'autre part le stade d'évolution de ce sol et, éventuellement,la nature des différents dépôts sur lesquels il s'est établi.

Nous avons utilisé, pour ces déterminations, la méthode densimétrique mise au point par l'un de nous (2). Nous rappellerons brièvement qu'elle consiste à mesurer la variation de la densité d'une suspension en voie de sédimentation en fonction du temps, à une profondeur déterminée. En transformant à l'aide d'abaques appropriés les densités en pourcentages cumulés et les temps en diamètres, il est possible de construire une courbe cumulative (ou courbe de sommation) caractéristique de la granulométrie du matériau étudié. Les abscisses représentent les diamètres, et les ordonnées le pourcentage en poids des particules inférieures à ce diamètre.

Pour interpréter et comparer ces courbes, nous avons retenu un paramètre central : la médiane Md ou diamètre qui sépare la population en deux masses égales. Par exemple, si Md = 200 microns, il y a dans le matériau étudié autant de particules supérieures à 200 microns que d'inférieures à cette dimension. On la détermine graphiquement à partir de la courbe cumulative en traçant la droite d'ordonnée 50 p. 100. L'abscisse, de son point d'intersection avec la courbe cumulative, donne la valeur de la médiane. Cette valeur est d'autant plus élevée que le matériau est plus grossier. Remarquons que la moyenne n'a pas été adoptée car son calcul est impossible en raison de la présence d'une classe indéfinie inférieure à deux microns. D'autre part, la détermination graphique est un procédé extrêmement rapide.

Nous avons, pour le fractionnement, abandonné la terminologie

TABLEAU I

	Type de sol	pH colorim.	Caractéristiques physiques						Composition granulométrique							
			Coef. de perméab. K (cm/h)	Indice d'Instabilité Is	Agrégats Eau %	Agrégats Alcool %	Agrégats Benzène %	Porosité %	Argile 2 mu %	Limon 2-20 mu %	Limon grossier 20-50 µ %	Sable fin 50-200 µ %	Sable grossier 200-2000 µ %	Mat. org. % (2,0 N)	Mat. org. % (1,72 C)	Humus %
VT 11	sableux "pur"	6,5	31,8	0,1	54,6	52,4	79,0	27,8	4,0	6,5	7,0	31,5	51,0	1,7	1,5	0,6
12		6,5	7,39	0,29	73,2	70,7	71,4	23,3	0,5	5,5	7,0	34,5	54,5	0,4	0,3	
13		6,5	4,27	0,29	72,9	73,9	69,7	17,03	3,5	6,5	4,0	35,5	50,5	0,4	0,2	
VT 21	sableux	6,4	7,15	0,24	69,0	68,0	66,9	27,05	5,5	14,5	13,0	25,0	42,0	2,3	2,3	0,5
22	"mélangé"	6,8	11,35	0,52	58,5	57,1	54,0	24,8	4,0	16,0	10,0	30,0	40,0	0,6		
23		6,8	3,3	0,41	64,4	65,0	68,3	26,3	8,0	13,5	12,0	25,5	41,0	0,4		
VT 31	sableux	6,6	17,94	0,41	44,0	49,3	45,7	40,9	7,0	13,5	10,0	45,5	24,0	1,9	1,7	1,4
32	"mélangé"	6,7	16,24	0,60	38,9	44,6	39,0	34,0	7,5	13,0	10,0	49,5	20,0	0,8	0,5	
33		6,7	4,63	0,53	46,0	51,2	46,8	35,9	9,0	12,5	11,0	44,5	23,0	0,8	0,5	
VT 41	sablo-argileux	6,6	23,2	0,15	47,9	63,8	43,6	30,1	36,0	10,0	19,0	25,0	10,0	4,8	4,4	2,3
42	(prairie)	6,5	29,2	0,28	45,0	62,0	31,1	26,1	29,5	14,5	20,0	26,5	9,5	3,4	3,1	
43		6,8	11,2	0,62	44,65	52,1	15,7	24,2	36,5	13,5	20,0	21,5	8,5	2,6	2,1	
VT 51	limono-argileux	6,8	48,6	0,11	59,5	70,5	46,4	27,1	37,5	17,5	19,0	20,5	5,5	6,0	5,1	2,3
52	(prairie)	7,1	42,7	0,30	53,9	65,2	33,1	29,0	38,5	14,5	21,0	21,0	5,0	3,8	3,2	
53		7,1	12,9	0,47	55,6	64,9	26,2	26,7	42,0	17,0	19,0	17,0	5,0	2,6	2,5	
VT 61	argilo-limoneux	6,9	182,6	0,75	77,65	84,0	66,4	20,0	50,5	23,0	13,0	8,5	5,0	9,3	8,3	2,1
62	(prairie)	7,0	179,3	0,41	65,5	77,3	34,9	19,6	51,0	22,0	13,0	9,0	5,0	4,0	4,6	
63		7,1	154,6	0,32	67,5	74,6	48,1	14,9	45,0	20,0	8,0	13,0	14,0	2,4	4,2	
VT 71	"herbue"	6,3	4,2	1,85	17,4	32,9	12,8	29,6	14,5	33,5	32,0	11,0	9,0	2,0	1,6	0,5
72	limono-sableux	6,4	3,5	5,78	17,9	25,7	11,4	29,6	19,0	36,5	23,0	13,5	8,0	1,2	0,8	
73		6,2	14,8	1,39	35,3	54,5	6,2	19,1	48,0	27,0	14,0	8,0	3,0	0,8	0,6	
VT 81	argilo-limoneux	6,8	3,7	1,34	29,7	54,8	11,9	25,99	39,0	29,5	17,0	8,5	6,0	3,5	3,0	0,6
82		6,7	12,3	1,33	37,1	61,3	9,3	26,04	37,0	27,5	17,0	10,5	8,0	1,5	1,2	
83		6,7	4,3	1,08	39,4	84,8	6,0	21,88	50,0	28,0	13,0	6,5	2,5	1,5	0,8	
VT 91	sableux	6,4	19,0	0,27	86,3	84,4	78,8	25,38	5,5	2,0	1,0	14,0	77,5	2,8	3,9	0,8
92		6,7	145,2	0,45	82,9	86,3	86,6	23,01	3,5	1,5	1,0	10,5	83,5			
VT 101	sableux	6,8	7,5	0,65	68,0	77,0	68,3	27,40	6,5	3,0	4,0	20,5	66,0	2,9	2,4	0,7
102	maraîcher	6,9	11,7	0,33	73,8	80,3	68,8	27,06	8,5	3,5	4,0	21,0	63,0	1,4	0,8	
103		7,1	9,5	1,77	71,61	77,2	64,8	24,44	10,0	4,0	4,0	25,5	56,5	1,0	0,4	
VT 111	argilo-limoneux	6,3	107,9	0,24	76,5	81,4	56,4	20,16	51,5	32,5	10,0	4,5	1,5	8,4	7,8	1,8
112	(prairie)	6,4	42,3	0,86	50,8	63,1	21,0	20,53	52,0	36,5	9,0	2,0	0,5	2,2		
VT 121	sableux	6,8	39,1	5,04	75,6	77,8	71,8	27,05	7,0	3,5	2,0	15,0	72,5	3,7	3,0	0,4
122	maraîcher	6,7	28,0	0,38	72,9	80,1	62,5	24,40	8,5	7,5	3,0	18,5	62,5	1,6		

TABLEAU II

		Profondeur cm	C °/₀₀	N total °/₀₀	C/N	Fer libre DEB °/₀₀	Mn libre DEB °/₀₀	Eléments échangeables (m.e. pour 100 g) Cap. éch.	Ca	Mg	Na	K	K_2O Morgan-Barbier p.p.m.	P_2O_5 Morgan-Barbier p.p.m.	P_2O_5 Dyer °/₀₀
LA BRUYERE	VT 11	0 - 25	8.6	0.87	9.8	5.5	0.35	5.3	4.6	0.3	0.17	0.20	58	14	0.235
	12	30 - 50	1.6	0.2	8.0	4.0	0.23	2.6	2.1	0.4	0.12	0.06	27	10	0.208
	13	70 - 85	1.0	0.2	5.0	5.2	0.33	2.8	1.8	0.3	0.13	0.05	17	12	
LECHATELET	VT 21	0 - 25	13.2	1.17	11.3	3.5	0.18	5.7	5.2	0.3	0.13	0.06	27	10	0.183
	22	25 - 45		0.3		3.7	0.16	3.8	3.7	0.2	0.14	0.04	t	14	0.234
	23	50 - 70	2.2	0.2	8.0	4.7	0.22	2.6	3.8	0.3	0.09	0.05	t	12	
PAGNY LA VILLE	VT 31	0 - 25	9.8	0.95	10.3	5.8	0.51	6.2	5.3	0.5	0.09	0.41	58	30	0.495
	32	30 - 45	2.8	0.4	7.0	5.8	0.50	6.7	5.0	0.4	0.12	0.22	58	30	0.505
	33	60 - 75	2.8	0.4	7.0	6.3	0.51	6.2	5.2	0.3	0.16	0.10	28	35	
St SYMPHORIEN	VT 41	2 - 10	25.8	2.37	10.8	11.6	0.42	22.8	21.4	1.9	0.29	0.27	18	t	0.041
	42	10 - 25	18.2	1.7	10.0	10.7	1.0	21.0	18.9	1.5	0.20	0.23	t	t	0.024
	43	25 - 35	12.2	1.3	9.0	13.4	0.72	22.9	21.3	1.6	0.18	0.24	t	t	
	51	2 - 10	29.5	2.97	9.9	13.4	0.50	26.9	25.9	1.2	0.43	0.25	t	2	0.022
	52	20 - 40	18.7	1.9	9.0	15.8	0.60	27.1	24.0	1.0	0.20	0.25	t	1	0.011
	53	40 - 55	14.6	1.3	10.0	18.0	0.78	26.6	25.1	1.0	0.17	0.30	t	1	
ESBARRES	VT 61	2 - 12	48.0	4.67	10.3	21.6	1.02	36.5	30.8	2.0	0.30	0.30	t	2	0.031
	62	20 - 30		2.0		25.0	1.76	35.9	30.2	1.3	0.22	0.40	t	2	0.024
	63	35 - 50		1.2		24.0	1.52	39.5	32.9	1.6	0.26	0.37	t	1.5	
FRANXAULT	VT 71	0 - 20	9.2	1.0	9.2	9.0	0.36	12.4	9.2	0.8	0.13	0.12	18	t	0.057
	72	20 - 40	4.9	0.6	8.2	9.8	0.36	9.4	8.8	0.7	0.15	0.10	18	t	0.028
	73	55 - 70	3.6	0.55	6.5	20.6	0.72	32.5	19.7	2.8	0.28	0.25	26	t	
	81	0 - 20	17.2	1.75	9.8	18.0	0.6	23.7	19.4	2.2	0.29	0.55	48	3	0.066
	82	25 - 45	6.7	0.77	8.5	18.8	0.72	26.7	16.9	2.1	0.28	0.25	18	t	0.019
	83	50 - 70	4.9	0.75	6.5	18.6	0.6	23.2	21.7	3.3	0.28	0.32	18	t	
AUXONNE	VT 91	0 - 20	22.4	1.91	11.7	7.2	0.24	4.7	4.0	0.4	0.32	0.18	58	16	0.608
	92	40 - 60				5.5	0.12	3.4	2.6	0.3	0.14	0.32	88	6	0.283
	101	0 - 20	13.8	1.43	9.6	4.2	0.36	8.6	7.8	0.4	0.14	0.20	48	40	0.765
	102	30 - 50	4.8	0.7	6.0	4.0	0.34	8.5	6.6	0.5	0.15	0.18	58	120	0.647
	103	50 - 70	2.8	0.5	5.0	4.0	0.26	8.2	6.9	0.5	0.14	0.12	58	90	
PERRIGNY S. OGNON	VT 111	2 - 12	45.1	4.17	10.8	24.0	1.4	35.8	30.8	2.6	0.28	0.39	10	2	0.052
	112	12 - 35		1.1		24.8	1.32	36.4	28.7	2.5	0.26	0.43	t	t	0.039
LES MAILLYS	VT 121	0 - 15	17.2	1.87	9.2	8.8	0.26	8.4	7.2	0.4	0.14	0.10	18	3	0.092
	122	30 - 50		0.8		9.0	0.24	9.2	8.1	0.5	0.14	0.11	t	2	0.042

internationale, suivant la tendance actuelle, et adopté les classes suivantes qui sont plus en accord avec la granulométrie des sols :

argile.....	inférieure à 2 microns	
limon.....	2-20 microns	l'ensemble de ces deux classes
limon grossier ..	20-50 microns	est appelé limon total
sables fins	50-200 microns	
sables grossiers..	200-2 000 microns.	

2. — Analyse physique.

A. — Détermination de la porosité totale.

Rappelons que la porosité totale exprime le pourcentage en volume de tous les pores (remplis par l'air et l'eau) par rapport au volume total de la terre.

Nous avons employé la méthode d'imprégnation des mottes par le pétrole qui nous a été préconisée par le Laboratoire des Sols de l'I. N. R. A.

B. — Détermination de l'humidité équivalente.

L'humidité équivalente, mesurée au laboratoire, correspond sensiblement à la capacité de rétention, c'est-à-dire à la quantité d'eau que le sol peut retenir quand son drainage est assuré librement.

Nous avons déterminé l'humidité équivalente, sur 12 sols considérés comme caractéristiques, par centrifugation dans un champ de 1000 g.

C. — Evaluation de la stabilité structurale.

Pour évaluer la stabilité des terres, nous avons utilisé la méthode mise au point par S. HÉNIN et ses collaborateurs (4-5). Elle comprend deux séries d'opérations :

— *a*) une analyse d'agrégats qui consiste à soumettre la terre fine à l'action de l'eau distillée après traitement à l'alcool éthylique, au benzène et à l'air. On en déduit un indice d'instabilité Is d'autant plus faible que la terre est plus stable. Le taux d'agrégats stables à l'eau après traitement au benzène traduit l'action de la matière organique sur la structure. L'indice d'instabilité reflète lui aussi cette action.

— *b*) un test de perméabilité qui met en évidence l'action des cations du complexe absorbant sur la stabilité. Le coefficient de perméabilité K ainsi déterminé s'exprime en centimètres d'eau par heure. Il est très élevé pour les terres riches en carbonate de calcium et très faible pour les terres sodiques. Les auteurs de la méthode ont constaté que le coefficient K

variait en sens inverse de l'indice Is, c'est-à-dire que les terres les plus stables sont aussi les plus perméables. Toutefois, à un même indice Is peuvent correspondre des valeurs différentes de K suivant le taux de matière organique, car les propriétés de gonflement de ces colloïdes provoquent une diminution de la perméabilité.

3. — Analyses chimiques.

A. — Dosage des matières organiques.

Nous avons calculé le taux de matières organiques à partir de la teneur en azote total dosé par la méthode KJELDHAL (N × 20) et en carbone total déterminé d'après ANNE (C × 1,72). Le rapport C/N a été pris en considération comme indice de minéralisation de la matière organique. Nous avons aussi, pour douze sols-types, dosé l'humus soluble dans l'oxalate d'ammonium selon la méthode CHAMINADE.

B. — Réaction.

Le pH a été mesuré électrométriquement ou colorimétriquement et le calcaire total à l'aide du calcimètre BERNARD.

C. — Capacité d'échange de cations et bases échangeables.

Nous avons déterminé la capacité d'échange de cations après percolation par l'acétate d'ammonium à pH 7.

La somme des deux bases échangeables, calcium et magnésium, a été dosée par le versénate, ainsi que le magnésium échangeable après élimination du calcium précipité par l'oxalate d'ammonium.

Pour le potassium et le sodium échangeables, nous avons utilisé le photomètre à flamme après destruction de l'acétate d'ammonium.

D. — Le fer libre

a été extrait par l'hydrosulfite de sodium suivant la technique de DEB puis dosé colorimétriquement par l'orthophénanthroline.

Nous avons dosé colorimétriquement par l'iodure de potassium le manganèse dit « libre » obtenu après deux extractions successives par l'hydrosulfite de sodium.

E. — L'acide phosphorique assimilable

a été obtenu par la méthode DYER (extraction à l'acide citrique à 2 p. 100).

— Nous avons aussi évalué, par la méthode MORGAN-BARBIER, la teneur des terres en acide phosphorique et potasse.

IV. — PEDOGÉNÈSE

1. — Facteurs d'évolution.

A. — Climat.

a) PLUVIOSITÉ :

Nous avons utilisé les données des trois stations climatologiques du Val de Saône : ce sont, d'amont en aval du fleuve, les postes de Vonges, Auxonne et Labergement-les-Seurre. Nous donnons, ci-après, la moyenne des chutes de pluie annuelles établie de 1901 à 1930.

Moyennes annuelles des chutes de pluie (1901-1930).

Vonges	Auxonne	Labergement les Seurre	Ensemble du bassin de la Saône
670 mm	773 mm	779 mm	757,4 mm

Les moyennes établies sur 30 ans font ressortir un accroissement de la pluviosité de l'amont vers l'aval.

Les chutes de pluie les plus abondantes ont lieu de mai à août inclus, ainsi qu'en octobre et novembre. Février est le mois le plus sec.

b) TEMPÉRATURE :

Ne possédant pas de renseignements sur la température de la Vallée de la Saône, nous avons eu recours aux relevés de la Station météorologique de Dijon-Longvic. Pour la même période de trente ans, les données sont les suivantes :

Moyenne annuelle	+ 10°7
Maximum annuel	+ 15°5
Minimum annuel	+ 5°9
Mois le plus chaud (Juillet)	+ 19°6
Mois le plus froid (Janvier)	+ 1°6

c) INDICES CLIMATOLOGIQUES :

Les deux données précédentes nous renseignent sur les conditions de climat auxquelles les sols sont actuellement soumis. Plusieurs indices calculés à partir de ces données rendent compte du climat global et indiquent les possibilités évolutives des sols correspondants. Nous avons calculé certaines d'entre elles :

— *Indice d'aridité de* E. de MARTONNE :

$$\mathrm{Ar} = \frac{P}{t + 10} = 35.$$

Cet indice ne tient compte que de la pluviosité totale. Il ne prend pas en considération la quantité d'eau qui pénètre dans le sol et qui, de ce

fait, contribue à son évolution. Aussi ne permet-il pas d'établir une différenciation suffisante des types de sol. La valeur de l'indice d'aridité obtenue pour les sols du Val de Saône permet de les classer en bloc dans la catégorie des sols bruns lessivés ou des sols légèrement podzoliques.

— *Indice de drainage calculé de* HENIN :

$$D = \frac{\alpha\gamma P^3}{1 + \alpha\gamma P^2} \quad \text{où} \quad \gamma = \frac{1}{0{,}15t - 0{,}13}$$

$\alpha = 2$ pour les sols sableux

$\alpha = 0{,}5$ pour les sols argileux.

Cet indice rend compte du climat interne du sol en faisant intervenir sa perméabilité.

Nous avons obtenu les valeurs suivantes :

Sols sableux	D = 352 mm
Sols argileux	D = 135 mm

Les sols de texture sableuse se rattacheraient ainsi à la catégorie des podzols et sols podzoliques tandis que les limons argileux des alluvions modernes se situeraient dans la classe des sols bruns.

Il est évident que ces indices donnent seulement la tendance évolutive des sols et non leurs caractères réels car, pour une raison quelconque, jeunesse, érosion, l'évolution peut n'être pas réalisée.

B. — Roches-mères.

Dans cette région, les caractéristiques des sols sont en liaison étroite avec celles de leurs roches-mères. Aussi, avons-nous préféré les décrire ensemble ultérieurement. Nous nous bornerons ici à donner les généralités concernant les trois grandes catégories de roches-mères observées, en insistant davantage sur l'une d'elles, plus affectée par la pédogénèse.

a) LIMONS ET ARGILES HUMIFÈRES correspondant aux alluvions modernes. Suivant leur situation, ils peuvent avoir une composition variable (30 à 70 p. 100 d'argile) mais leurs caractéristiques essentielles sont la finesse (peu de particules supérieures à 50 microns), et la teneur élevée en matière organique.

En mars 1955, après une crue de la Saône, nous avons prélevé du limon de dépôt actuel dont la composition granulométrique est la suivante :

Argile (Inf. à 2 microns)	64 %
Limon total (2 - 50 microns)	28 %
Sables fins (50-200 microns)	7 %
Sables grossiers (200-2 000 microns)	1 %

Un tel matériau, par sa texture, se prête assez mal au lessivage. D'autre part, le renouvellement annuel des dépôts en certains lieux, s'oppose à toute évolution.

Ce limon a, en général, une réaction neutre. Les fractions sableuses sont formées presque exclusivement de quartz roulés, témoignant d'un long transport.

Nous avons voulu nous rendre compte de l'influence des affluents originaires des plateaux calcaires sur la composition des alluvions modernes. Dans ce but, nous avons étudié des profils de sols en bordure de ces rivières, puis après leur confluent avec la Saône :

— *Influence de la Vingeanne* : *A* Talmay, nous avons relevé un profil calcaire (9 à 17 p. 100). A 4 km en aval, à Heuilley-sur-Saône, le limon est acide (pH 6,6).

— *Influence de la Bèze* : *A* Vonges, au bord de la Bèze, la teneur en calcaire varie de 13 à 25 p. 100. Nous n'avons, après le confluent, qu'un profil de sol acide.

— *Influence de la Tille* : Immédiatement après le confluent, aux Maillys, le profil est calcaire (9 p. 100), assez semblable à celui des bords de la Tille, tandis que 3 km plus loin, dans la pâture de Saint-Jean-de-Losne, il est à nouveau légèrement acide.

— *Influence de l'Ouche* : En bordure de l'Ouche à Echenon, le profil est calcaire (13 à 20 p. 100) ; 300 mètres après le confluent, il est faiblement acide.

Il se dégage de ces exemples que les rivières qui descendent des plateaux calcaires n'ont qu'une influence extrêmement limitée sur la composition du limon d'alluvionnement moderne. Celui-ci est dû, soit directement, soit par remaniement de formations plus anciennes, au bassin d'alimentation supérieur de la Saône et de l'Ognon, c'est-à-dire au massif des Vosges.

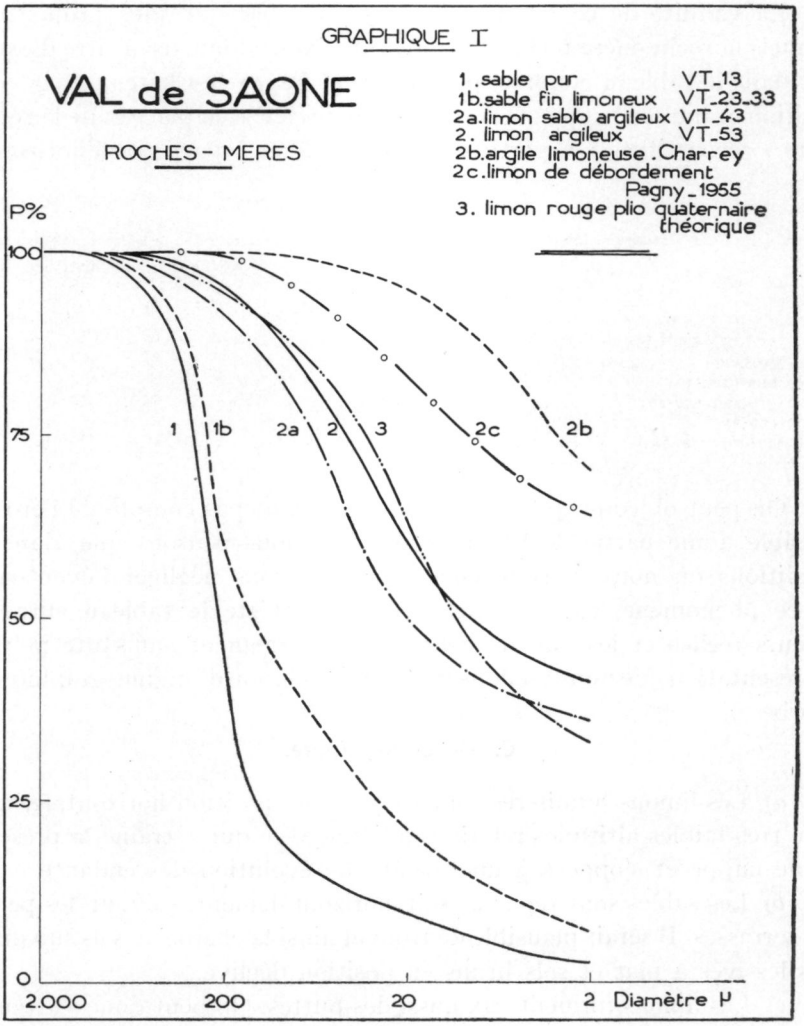
b) Sables définis géologiquement comme les constituants des alluvions anciennes de la terrasse de Saint-Usage et d'une partie de la plaine alluviale. Ils sont bien classés et renferment toujours moins de 20 p. 100 de grains inférieurs à 20 microns. Ce sont des sables essentiellement quartzeux originaires, eux aussi, des Vosges. Ils constituent un milieu très perméable, donc propice aux phénomènes d'entraînement.

c) Limons de couverture se rapportant topographiquement aux terrasses supérieures a_1d et a_1c formées d'alluvions anciennes non différenciables du pliocène sous-jacent. Ces limons apparaissent comme les roches-mères les plus anciennes du Val de Saône. La pédogénèse les a altérés sur une profondeur de près de un mètre.

Il nous est apparu que, en position horizontale, il n'existait qu'un seul limon que nous appellerons « limon plio-quaternaire » restant ainsi dans une imprécision voulue quant à son origine. Il s'agit d'une formation argilo-limoneuse dont la composition est donnée dans le tableau Pagny-le-Château. Les sables sont constitués principalement de quartz et de concrétions ferrugineuses. Nous pensons que ce limon, analogue à ceux

que nous avons observés à des distances variables de la Saône, et que nous avons décrits antérieurement (6) est en partie originaire des collines jurassiques voisines, mais il est impossible de le dater.

Son épaisseur est très variable. Précisons que ce limon, lorsqu'il est peu épais, peut être entièrement affecté par le lessivage. Il ne nous est,



dans ce cas, plus possible de l'observer dans son état initial. Mais la composition granulométrique originelle, avant tout lessivage, peut être tirée de la composition granulométrique actuelle des divers horizons. A cet effet, on détermine le taux moyen d'argile du profil qui en est aussi le taux initial ; on rétablit ensuite par le calcul la granulométrie initiale de chaque niveau, sachant que seule l'argile peut migrer et que les consti-

tuants non argileux sont plus ou moins dilués par la quantité d'argile présente. De l'identité de composition granulométrique des fractions non argileuses aux différents niveaux, on peut déduire l'homogénéité du matériel d'origine.

Nous désignerons sous le nom de « roche-mère reconstituée » ce limon dont la composition granulométrique initiale est ainsi calculée.

La validité de ce calcul a été contrôlée par quelques profils pour lesquels la roche-mère réelle était présente. Nous donnons, à titre d'exemple, dans le tableau ci-après, pour le profil Pagny-le-Château 1, la composition granulométrique de la roche-mère prélevée en place et de la roche-mère « reconstituée » à partir de l'horizon A et à partir de l'horizon B.

Pagny-le-Château 1.

	Roche-mère réelle	Roche-mère reconstituée	
		à partir de A	à partir de B
Sables grossiers (2 000-200)	5	5	5
Sables fins (200-50)	15	18	18
Limon grossier (50-20)	19	17	21
Limon (20-2)	23	25	23
Argile (inférieur à 2)	38	35	35

On peut objecter qu'un tel procédé ne tient pas compte de l'érosion possible d'une partie de l'horizon A. Mais nous pensons que, dans les conditions où nous nous plaçons, nous pouvons négliger l'éventualité de ce phénomène, car la concordance qu'atteste le tableau entre les valeurs réelles et les valeurs calculées est largement suffisante pour la représentation que nous voulons nous faire du limon d'origine (graphique I, courbe 3).

C. — Topographie.

a) Les limons humifères sont toujours en position horizontale, mais à de très faibles altitudes relatives à l'étiage, ce qui entraîne la présence d'une nappe et s'oppose à une éventuelle évolution descendante.

b) Les sables sont répartis, soit horizontalement, soit sur les pentes des terrasses. Il serait plausible de trouver ainsi la chaîne de sols suivante : sols lessivés à plat et sols bruns en position déclive.

c) Les limons forment eux aussi des buttes. On peut donc s'attendre à observer également la chaîne de sols précédente.

2. — Critères d'évolution.

Les indices climatiques, et en particulier l'indice de HENIN, nous révélaient pour les sols du Val de Saône, et spécialement pour les sols sableux, une tendance marquée au lessivage. Dans cet esprit, nous avons,

après la discrimination première faite sur le terrain, retenu deux critères principaux d'évolution : la teneur en argile et en fer libre. Nous avons calculé les indices d'entraînement de l'argile et du fer libre en établissant le rapport du taux de chacun de ces constituants entre l'horizon B et l'horizon A_2.

Se rattachant à la granulométrie, la capacité d'échange de cations a aussi été utilisée dans le même sens. Parallèlement, nous avons pris en considération la nature de l'humus tel que Ph. DUCHAUFOUR (7-8) la définit, c'est-à-dire par le pH de l'horizon A_1 et le rapport C/N des horizons A_1 et B. Accessoirement, nous avons aussi envisagé le taux de manganèse libre et l'indice d'entraînement de cet élément.

3. — Degré d'évolution.

(Résultats analytiques tableaux I et II).

Nous avons distingué, d'après le degré d'évolution, trois types de sols, correspondant aux trois roches-mères principales :

A. — Les sols sur limons humifères des alluvions récentes.

Leurs caractères découlent de la présence d'une nappe phréatique de profondeur variable subissant des oscillations en cours de saison. AUBERT et DUCHAUFOUR les intégreraient dans la sous-classe des sols alluviaux à nappe tandis que pour KUBIENA, ce seraient des sols « demi-terrestres » du type « Brown Vega ».

Le profil général est celui d'un sol de prairie humide :

— A_0 très noir.

— A (2-15 cm) brun noir grumeleux, humifère (6 à 9 p. 100 de matière organique). L'humus peut être assimilé à un Mull de rapport C/N voisin de 10. Le pH est compris entre 6,3 et 6,9 ; cet humus est assez fortement saturé en calcium comme l'indique le rapport du calcium échangeable à la capacité d'échange de cations toujours voisin de 80 p. 100.

— B structural (20-40 cm) brun-gris, polyédrique renfermant souvent des concrétions ferrugineuses et des taches rouille sur fond gris indiquant une zone de fluctuation de la nappe.

— G horizon de gley à des profondeurs variables suivant la position topographique des sols.

La granulométrie et la teneur en Fe libre et manganèse libre des différents horizons des profils montrent qu'il existe dans ces sols de légers mouvements d'argile, de fer et de manganèse, et que l'horizon B n'est

pas toujours uniquement structural. Quelques chiffres donneront une idée de l'amplitude du phénomène.

	Prof. de l'hor. B	Argile %		Rap. des taux d'argile	Fe libre °/oo		Rap. des taux de fer	Mn libre °/oo		Rap. des taux de Mn
		A	B		A	B		A	B	
VT 4.....	25	30	37	1,25	10,7	13,4	1,25	0,42	0,72	1,71
VT 5.....	40	37,5	42	1,1	13,4	18	1,34	0,50	0,78	1,56
Auxonne 2....	40	29	32	1,1	16	20	1,3			
Charrey 1.....	40	67	72	1,1	28	36	1,3			
Heuilley 1....	70	47	65	1,3	18	32	1,75			

Le rapport des taux d'argile varie de 1,1 à 1,3, tandis que celui de la teneur en fer lui est en général toujours supérieur (de 1,25 à 1,75) et celui du manganèse encore plus élevé.

La nature du matériau initial, ainsi que la présence d'une nappe phréatique permanente s'opposent à une migration importante de l'argile.

Le rapport des taux de fer ne doit pas être interprété comme un indice d'entraînement descendant. Il reflète plutôt une migration ascendante du fer sous forme ferreuse, à partir des couches profondes, avec accumulation dans l'horizon B, ainsi qu'en témoignent les résultats d'analyse du profil sous prairie d'Esbarres Vt 6 à plan d'eau peu profond, où les teneurs en fer et manganèse libres sont plus élevées dans la couche 20-30 que dans les deux couches voisines.

En résumé, nous classerons les sols sur alluvions modernes dans le groupe des *sols alluviaux bruns à nappe, de profil A (B) C* et indice d'entraînement de l'argile de 1,1 à 1,4.

B. — Les sols sur sables des alluvions anciennes.

Ils ne sont pas affectés par la présence d'une nappe phréatique peu profonde. Leur roche-mère est extrêmement perméable et favorable à la migration descendante de l'argile et du fer.

Le profil sous bois (Lechatelet 4) est le suivant :

— A_0 2 cm très noir.

— A_1 2-15 cm brun à très petits agrégats, 6,5 p. 100 de matière organique de rapport C/N = 15.

— A_2 15-55 cm beige roux à structure particulaire ou un peu pelliculaire.

— A_2 B_1 55-95 cm beige à structure particulaire, faiblement plus argileux.

— B 95-130 cm un peu plus argileux avec micro-agrégats formés par accolement des grains fins aux grains plus grossiers.

— C inférieur à 130 cm.

Sous culture, les horizons sont mélangés et l'on n'observe plus qu'une couche arable en général peu humifère (1,5 p. 100) et un sous-sol plus clair, parfois faiblement enrichi en argile.

Considérons les différents critères d'évolution :

a) ARGILE : L'enrichissement en argile commence à des profondeurs assez faibles, de 30 à 50 cm, mais il s'intensifie vers 1,10 m. En considérant cette profondeur comme celle de l'horizon B, on obtient un indice d'entraînement de 1,8.

Ceux de nos profils qui n'atteignent que 80 cm sont certainement incomplets bien que nous ayons observé, avant cette profondeur, une accumulation d'argile. D'ailleurs, si nous examinons pour chaque profondeur de notre horizon d'accumulation présumé l'indice d'entraînement d'argile correspondant, nous obtenons les valeurs suivantes :

Profondeur de B présumé	Indice d'entraînement de l'argile
30 cm	1,2
40 cm	1,3 — 1,5
50 cm	1,4 — 1,5 — 1,6
60 cm	1,3
75 cm	1,6
80 cm	1,6
90 cm	2,4
110 cm	1,8

Il semble, d'après ces chiffres, que l'indice d'entraînement moyen puisse être estimé aux environs de 1,6 à 1,8 et que la couche à considérer pour le calculer se trouve approximativement à 80 cm ou 1 mètre.

D'ailleurs, pour le profil de Lechatelet 4, creusé à 1,80 m, si nous établissons l'indice d'entraînement de l'argile entre l'horizon A et le début de l'horizon B, soit 50 cm, nous obtenons la valeur de 1,4 qui trouve sa place dans le tableau précédent.

Notons toutefois que la valeur de cet indice est assez approximative pour les sols sableux, en raison de l'erreur relative importante sur la détermination de la faible teneur en argile.

b) FER : Nous possédons peu de résultats à ce sujet et ne pouvons citer que les valeurs suivantes :

Profondeur de B présumé	Indice de l'argile	Indice du fer
30 cm	1,2	1
40 cm	1,3	1,5
50 cm	1,4 et 1,5	1,34 et 1
60 cm	1,3	1,1
90 cm	2,4	1,6

D'après ces chiffres, à une profondeur donnée, l'indice de lessivage du fer est presque toujours inférieur à celui de l'argile.

Des tranchées récentes, le long desquelles il ne nous a pas été possible de faire des prélèvements, nous ont montré des zones de concrétionnement

de fer et manganèse situées à des profondeurs pouvant atteindre 2 à 3 m, ce qui confirme la conclusion précédente.

c) HUMUS : Sous bois d'acacias (Lechatelet 4), le taux de matière organique de l'horizon A_1 est de 6,7 p. 100. L'examen de cette couche, ainsi que le rapport C/N de 15 et le pH de 4,6 permettent de penser que, d'après DUCHAUFOUR, il s'agit d'un Mull tendant vers le Moder.

Par contre, toujours en suivant cet auteur, pour les trois sols cultivés (Vt 1, 2 et 3) de faible teneur en matière organique (1,5 à 2,3 p. 100), l'humus peut être assimilé à un Mull saturé en calcium au taux de 80 p. 100. Le pH est égal à 6,6. Le rapport C/N est voisin de 10 traduisant une certaine richesse en azote, une minéralisation et une humification convenables qui favorisent la rétention des bases échangeables dans la couche superficielle (somme des bases = 5,1 à 5,6).

Les trois sols maraîchers (VT 9, 10 et 12) ont un taux de matière organique plus élevé. Il est compris entre 2,8 et 3,7 p. 100. Cet humus peut aussi être assimilé à un Mull saturé en calcium. Le pH varie entre 6,4 et 6,8 et le rapport C/N entre 9 et 12.

Il découle de ces diverses considérations que les sols sur alluvions anciennes sont des sols en voie d'évolution, encore jeunes si l'on en juge par leur perméabilité, par la profondeur relativement importante de leur horizon B, ainsi que par la valeur de l'indice de lessivage de l'argile. Rappelons que le « drainage calculé » de HENIN indique une tendance évolutive vers les sols podzoliques. Nous classerons ces sols sableux, dans leur phase actuelle d'évolution, c'est-à-dire loin d'avoir atteint leur climax, dans la catégorie des *sols bruns faiblement lessivés de profil A B C* (B relativement profond) et indice d'entraînement de l'argile voisin de 1,7.

C. — Les sols sur limon plio-quaternaire.

— *a*) EN POSITION HORIZONTALE, le profil est celui d'un sol lessivé. Nous l'avons relevé sous bois (Pagny-le-Château) et sous culture (Franxault VT 7).

— A_0 peu épais (2 cm sous bois).

— A_1 (de 2 à 15 cm) beige-gris humifère, structure un peu grumeleuse sous bois, à tendance feuilletée en sol cultivé.

— A_2 (de 15 à 30 cm) beige à structure particulaire.

— B_1 (de 30 à 50 cm) beige sableux avec beaucoup de concrétions ferrugineuses assez volumineuses.

— B_2 (de 50 à 90 cm) pseudogley très marmorisé, argileux polyédrique à tendance prismatique.

— C (de 100 à 150 cm) brun homogène argileux sans marmorisation, polyédrique.

La caractéristique essentielle des sols de ce type est la présence d'un horizon B argileux, très riche en taches blanches ferreuses et taches rouilles ferriques qui correspond à la couche affectée par la nappe d'eau temporaire.

D'après les résultats d'analyse, nous pouvons, comme dans le cas des sols sableux, considérer trois aspects de l'évolution :

— *a'*) *Indice d'entraînement de l'argile* : Cet indice est de l'ordre de 3, ce qui classe les sols dans la catégorie des sols lessivés.

— *b'*) *Indice d'entraînement du fer* : Aux sols lessivés correspond un rapport d'entraînement du fer de l'ordre de 2,3.

— *c'*) *Humus* : Sous forêt de feuillus dans l'horizon A_1 à plat, c'est un Mull forestier tendant vers le Moder, de rapport C/N = 18,5, de pH 5,3, faiblement saturé en calcium (10 p. 100).

En sols cultivés, la couche labourée possède un humus beaucoup plus riche en azote (C/N = 10) saturé en calcium à 70-80 p. 100, de pH 6,3–6,8, donc à minéralisation rapide. Dans l'horizon B, la teneur en matière organique diminue fortement (0,6 p. 100) et la valeur de C/N est faible, voisine de 7. Par contre, la somme des bases échangeables est très élevée (21,2 meq/100 g contre 9,6 dans l'horizon A_1).

Duchaufour (3), pour différencier le lessivage de la podzolisation, a retenu, entre autres critères, le rapport d'entraînement des bases ainsi que la teneur en matière organique de l'horizon B et son rapport C/N.

Ceci confirme notre opinion, émise dans une note antérieure (6), que les sols de notre région sont affectés d'un simple phénomène de lessivage, sans dégradation chimique des minéraux argileux.

En conclusion, compte tenu dans les sols à plat de la difficulté de circulation des eaux en période humide, entraînant la formation d'une nappe d'eau temporaire, il apparaît normal de les classer en *sols lessivés à pseudogley*.

— *b*) En pente, sur le flanc des buttes, nous observons un profil différent, beaucoup moins évolué : (Franxault VT 8).

— A_1 (0-20) brun humifère (couche labourée) un peu grumeleuse, assez polyédrique.

— A_2 (20-45) brun rouge polyédrique à tendance prismatique.

— B (50-70) rouge brun très compact, faiblement marmorisé, contenant quelques concrétions ferrugineuses.

Nous n'avons pas poursuivi nos observations plus profondément. L'humus est semblable à celui des sols lessivés en position plane.

L'indice d'entraînement de l'argile n'est que de 1,3 et celui du fer de 1, car l'évolution de ces sols est entravée par la pente qui occasionne un lessivage oblique de l'argile et du fer, ainsi qu'une érosion de la sur-

face. Nous classons ces sols de pente, peu affectés par les phénomènes hydrologiques, car l'eau circule obliquement, dans les *sols bruns légèrement lessivés*.

V. — GRANULOMÉTRIE

Dans ce chapitre, comme dans les suivants, nous considérerons les sols du Val de Saône sous un angle plus agricole et, dans ce sens, nous envisagerons leur composition granulométrique et leurs propriétés physiques et chimiques.

La granulométrie présente une importance toute particulière car elle est liée aux conditions de dépôt des alluvions et varie avec la topographie.

Nous expliquerons donc les différences de composition des limons et des sables par la considération des coordonnées verticales et horizontales par rapport à la Saône.

La granulométrie des sols étudiés est très variée. Elle est, dans le cas des alluvions modernes et anciennes, très voisine de celle de la roche-mère. Nous avons distingué les classes suivantes :

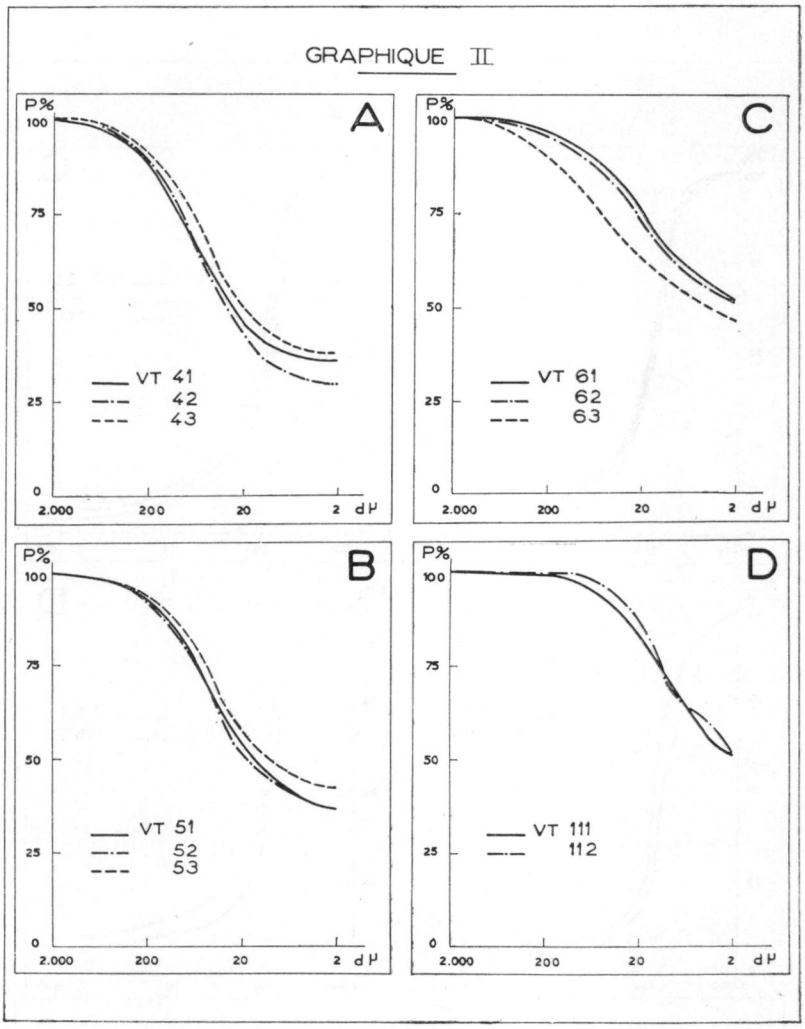
A. — Sols sur limons et argiles humifères d'alluvions modernes.

a) Sols sablo-argileux : Ce sont des limons sablo-argileux (VT 4 — Graphique II A). Leur granulométrie est du type 2 a (graphique I) avec des teneurs en sables qui atteignent 50 p. 100 (dont 35 p. 100 entre 50 et 2 000 microns) et des teneurs en argile de l'ordre de 30 p. 100 en surface et 35 à 40 p. 100 en profondeur. La médiane est située autour de 20-30 microns. Nous les avons trouvés sur des rives rectilignes, en général assez surélevés pour être considérés comme peu submersibles.

b) Sols limoneux-argileux (VT 5) : La courbe représentative (graphique II B) se rattache au type 2 (graphique I). Ce sont des sols plus argileux (35-40 p. 100) avec de moindres teneurs en sables (25 p. 100 entre 50 et 2 000 microns). La médiane est déplacée vers les éléments fins (15 microns). Le sous-sol est un peu plus argileux que le sol. Ils sont situés à des altitudes plus basses que les précédents, ce qui conditionne leur submersion éventuelle par la rivière en forte crue. Il semble bien qu'ils ne soient par recouverts chaque année par les eaux de débordement.

c) Sols argilo-limoneux (VT 6 et VT 11) : La courbe cumulative est représentée sur le graphique II (C et D). Elle est du type 2 b (graphique I). La teneur en argile varie de 50 à 70 p. 100, tandis que la fraction sables 50 à 2 000 microns est sensiblement réduite (10 à 15 p. 100).

Ils se trouvent à des altitudes encore plus basses qui les rendent submersibles à chaque crue. Ils ont une certaine analogie avec le limon d'inondation actuel dont la composition est donnée dans le chapitre des roches-mères.



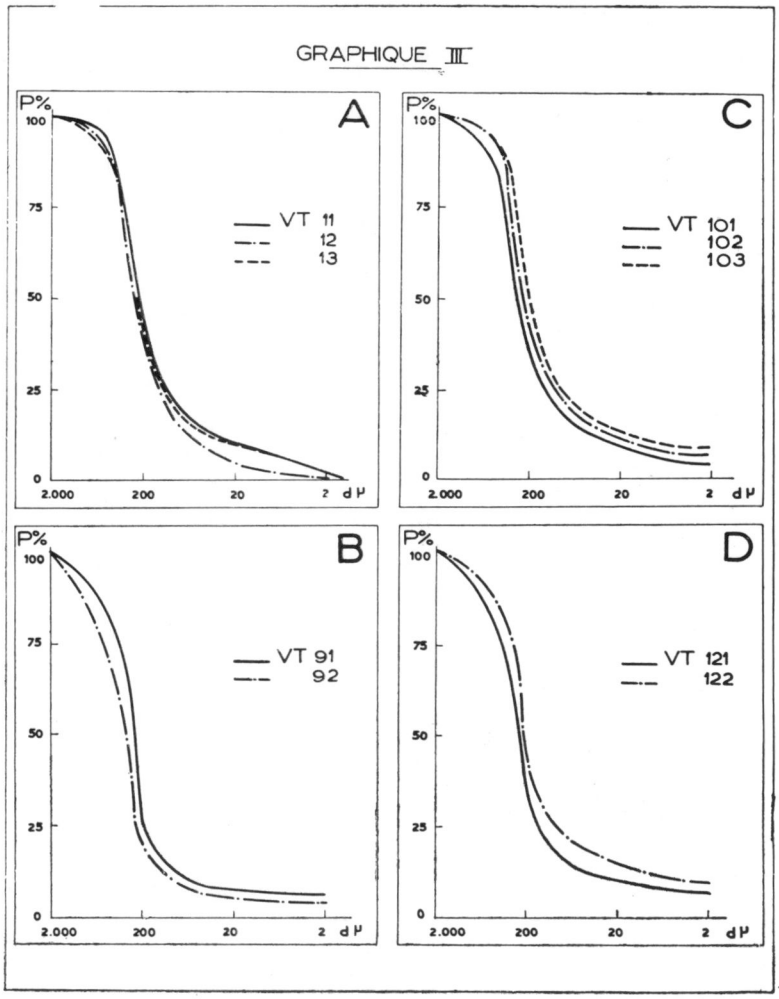
B. — Sols sur sables d'alluvions anciennes.

Nous considérerons, dans ce paragraphe, les alluvions de la terrasse de 10 m et celles qui lui sont topographiquement inférieures.

Deux catégories ont été isolées, pour lesquelles nous avons conservé la terminologie locale, assez suggestive :

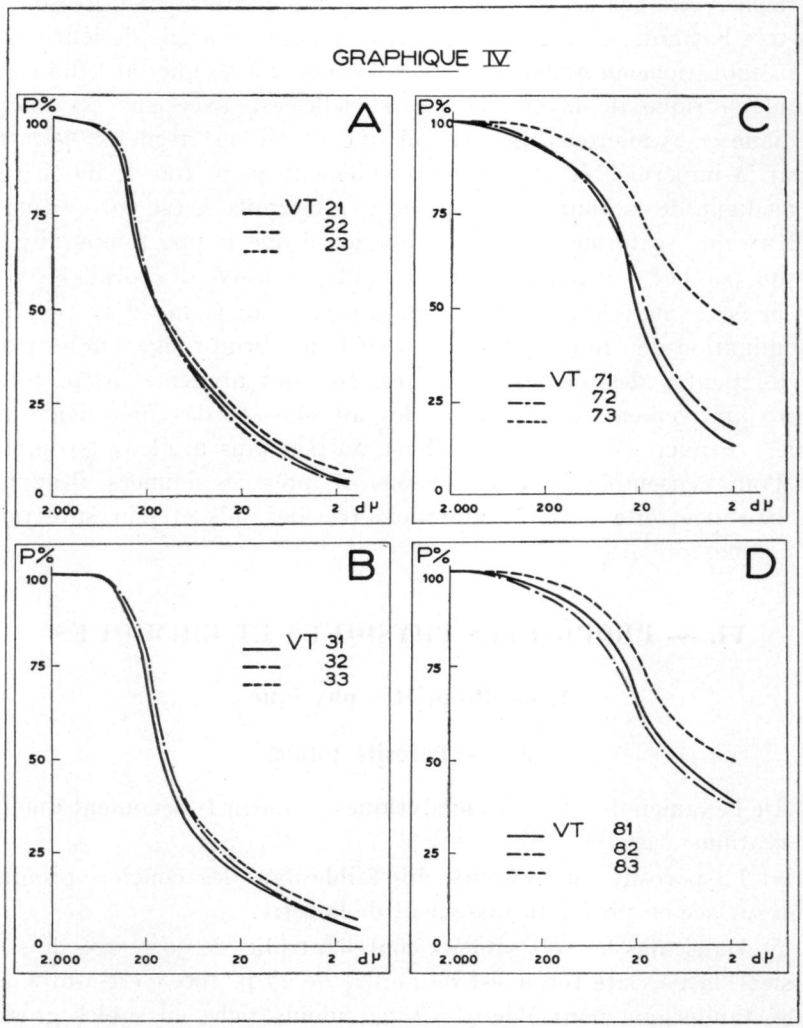
a) Sols sableux « purs » (VT 11-91-101-121 — Poncee les athee).

Ils ont la répartition granulométrique d'un sable bien trié (graphique III A-B-C-D) et sont très apparentés à leur roche-mère (courbe 1 du graphique I), étant donnée la faible amplitude de l'évolution. La caractéristique principale est la haute teneur en sables 20-2 000 microns (90 p.100) et la position de la médiane au voisinage de 200 microns. Ces sols sont



situés sur la terrasse de 10 mètres ainsi que dans la partie plane de la vallée, mais dans des conditions telles qu'ils ne puissent être atteints par les eaux de débordement, bien que parfois ils soient à un niveau inférieur à celui de la Saône. C'est le cas des sables des régions maraîchères en particulier (Auxonne VT 91 et 101 et Les Maillys VT 121) et de Heuilley 21).

b) SOLS SABLEUX « MÉLANGÉS » (VT 21 et 31 — GRAPHIQUE IV A ET B) : Cette expression locale définit un type de sol qui se trouve en position plane, dans le fond de la vallée, à distance relativement faible du fleuve. La courbe de sommation typique est la courbe 1 b du graphique I. Elle montre un brusque changement de direction au voisinage de 200 microns.



Il s'agit de la superposition au sable pur préexistant (courbe 1) d'une phase finement sableuse et limoneuse qui décale la médiane vers 130-150 microns et ramène la teneur en sables 20-2 000 microns à 80 p. 100.

Nous n'avons pu savoir de façon sûre si ces terrains étaient effectivement submergés par les eaux lors de crues importantes. Il est possible qu'il s'agisse d'un type intermédiaire entre les alluvions sableuses anciennes et les alluvions limoneuses modernes.

C. — Sols sur limons des buttes anciennes.

a) Sols limono-sableux (VT 71 — graphique IV c) : Ils sont appelés localement « herbues » ou « aubues » en raison de leur teinte blanchâtre. Ils sont situés au sommet des coteaux anciens et représentent pour nous l'horizon A des sols lessivés sur limons « plio-quaternaire ». Ce sont des sols très battants, en raison de la faible teneur en argile de leur surface (15 p. 100), riche en limon total (65 p. 100 de 2 à 50 microns). La courbe granulométrique de la couche superficielle est axée sur 20 microns (médiane = 25 microns). Le sous-sol au contraire est argileux (45 p. 100) et par là imperméable ; il contient seulement 40 p. 100 de limon total. La médiane de la courbe correspond à 4 microns. C'est sur ce sous-sol argileux que se forme en période pluvieuse une nappe temporaire dite « nappe perchée », entraînant une humidité excessive des sols.

b) Sols argileux des pentes (VT 81 — graphique IV d) : Leur dénomination de « rougets » traduit leur teinte brun-rouge. On les trouve sur les pentes des buttes anciennes. Ils sont argileux (40 p. 100) et approximativement assez semblables au sous-sol des précédents (médiane =8 microns). Leur sous-sol est un peu plus argileux (50 p. 100).

Pour l'ensemble du Val de Saône, d'après ces données, il apparaît une liaison étroite entre la granulométrie des sols et leur substratum géologique.

VI. — PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

1. — Propriétés physiques.

A. — Porosité totale.

De l'examen des données analytiques (tableau I) découlent quelques observations :

a) La porosité est toujours plus faible dans les couches profondes qu'en surface en raison du tassement de la terre.

b) Dans tous les sols sableux contenant plus de 30 p. 100 de sables grossiers, la porosité totale est de l'ordre de 27 p. 100, c'est-à-dire assez faible, tandis que pour Pagny VT 31, moins riche en sables grossiers (24 p. 100), la porosité est beaucoup plus élevée (41 p. 100). Ceci est conforme aux données de Baver (9) à savoir que, plus les particules élémentaires sont grossières, plus les pores sont larges, mais moins ils sont nombreux, ce qui se traduit finalement par une diminution de la porosité totale.

Notons toutefois que tous ces sols sont cultivés et que les travaux du sol modifient la porosité naturelle.

c) Dans les sols sous prairie des limons d'alluvions modernes, la porosité est inversement proportionnelle, d'une part au taux d'argile, d'autre part à la teneur en fer libre. Cette variation s'oppose aux conceptions de BAVER précédemment citées, mais peut s'expliquer par la forte proportion d'argile de certains de ces sols, génératrice de compacité. Par contre, elle croît avec la teneur en sables supérieurs à 50 microns, ainsi que le laissent paraître les valeurs suivantes :

	P %	A %	Sable supé. à 50 microns	Fe libre ‰	M. O. %
VT 41	30	36,0	30	11,6	5,9
VT 51	27	37,5	25	13,4	5,3
VT 61	20	50,5	12	21,6	9,1
VT 111	20	51,5	5	24,0	6,9

La matière organique ne semble pas avoir une influence en raison du caractère argileux des sols.

d) Dans les sols lessivés du plio-quaternaire, la porosité ne se rattache ni à la teneur en argile, ni à la teneur en matière organique. Soulignons que, là aussi, il s'agit de sols cultivés.

AUBERT et BETREMIEUX (1) ont déterminé pour deux profils du Val de Saône, l'un argileux et l'autre sableux, la porosité totale à partir d'un cube de terre de volume connu, prélevé au champ. Les valeurs qu'ils ont trouvées, supérieures à nos résultats surtout en sols argileux, sont de : 50 p. 100 en sol contenant 40 p. 100 d'argile, 60 p. 100 en sol sableux humifère et 40 p. 100 en sous-sol sableux contenant 9 p. 100 d'argile.

Ces différences peuvent s'expliquer par la différence de méthodes de détermination. Il est possible que, par la technique que nous avons utilisée, la préparation des mottes contribue à tasser la surface des sphères les plus argileuses, diminuant ainsi le volume du pétrole de remplissage des pores.

B. — Humidité équivalente.

Les valeurs obtenues sont les suivantes :

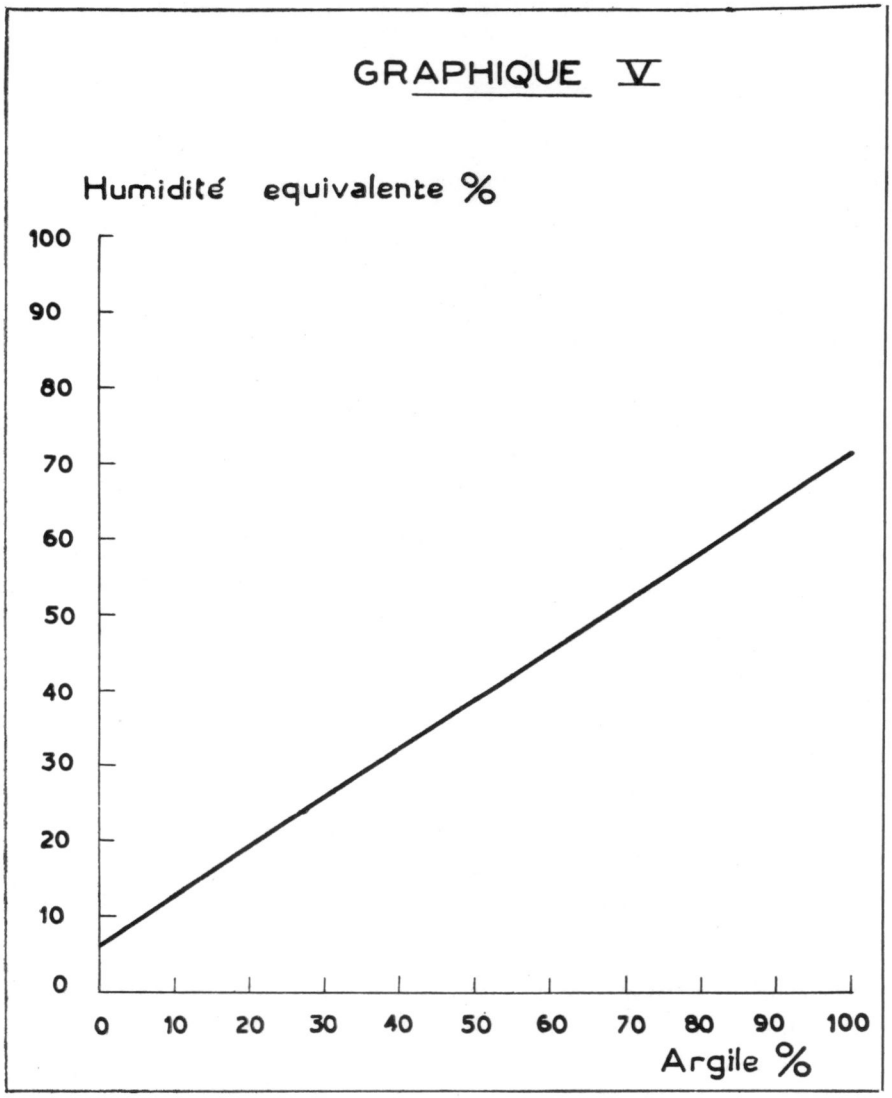
	He %		He %
VT 11	8,8	VT 71	19,4
» 21	10,5	» 81	25,2
» 31	11,25	» 91	8,2
» 41	27,5	» 101	9,3
» 51	32,0	» 111	39,0
» 61	42,5	» 121	9,7

La corrélation qui existe entre l'humidité équivalente (He) et le taux d'argile (x) de nos sols a été calculée. Elle est très significative

(P. sup. à 0,001 pour le coefficient de régression et le coefficient de corrélation r = 0,95).

La droite de régression s'exprime par l'équation :

He = 6,2 + 0,65 x.



Elle est représentée sur le graphique V.

AUBERT et BETREMIEUX (1) ont établi pour les sols du Val de Saône, entre l'humidité équivalente et le taux d'argile, la relation suivante :

He = 10 + 0,55 x.

Les sols du Val de Saône sont susceptibles de retenir des quantités d'eau qui varient avec leur texture :

— 8 à 12 p. 100 dans les sols sableux.
— 20 p. 100 dans les herbues.
— 30 p. 100 dans les sols limono-argileux.
— 40 p. 100 dans les sols argileux.

Nous n'avons pas mesuré le *point de flétrissement* des sols du Val de Saône, mais nous en avons calculé l'ordre de grandeur à partir de l'humidité équivalente, d'après une formule établie statistiquement par BRIGGS et SHANTZ (10) :

$F = 0{,}54\ He.$

Le point de flétrissement (F), approximativement égal à la moitié de la capacité de rétention, varie de la façon suivante :

Sols sableux	5 %
Sols limoneux (herbues)	10 %
Sols limono-argileux	15 %
Sols argileux	22 %

La réserve d'eau utile à la plante peut s'exprimer en centimètres d'eau en tenant compte de la profondeur de sol exploitée par les racines (p) et en prenant 1,3 pour la densité apparente du sol :

$$R = \frac{(He - F) \times 1{,}3p}{100}.$$

Notons que, dans le cas des sols alluviaux à nappe peu profonde, le courant capillaire ascendant assure un renouvellement de la réserve d'eau. C'est ainsi que, pour les *prairies* du Val de Saône, nous pouvons dire que la qualité de la prairie semble étroitement liée aux possibilités hydriques du sol. Nous rejoignons ici les considérations émises antérieurement sur l'importance de la position topographique car l'altitude de la prairie par rapport à la Saône conditionne :

— la teneur en argile du sol, donc sa capacité de rétention, et par là, sa réserve en eau utile ;
— la plus ou moins grande profondeur de la nappe.

Les exploitants ont distingué les prairies « bonnes », « moyennes » et « médiocres », termes que nous utiliserons ultérieurement et qui, pour nous, ne présentent pas de valeur absolue.

Dans les *sols sableux*, la nappe est située trop profondément pour avoir une action directe sur la végétation. Bien que la profondeur de sol exploitée par les racines soit difficile à déterminer, il apparaît que la réserve en eau est très faible et incapable d'assurer l'alimentation d'une végétation intensive.

Les cultures *sur herbues* souffrent plus de la compacité du sol que de

sa sécheresse, car, bien que la réserve soit faible, la présence fréquente d'une nappe d'eau « perchée » sur la couche argileuse du sous-sol facilite le réapprovisionnement du stock.

C. — Stabilité structurale.

L'examen des résultats obtenus par l'application des deux tests d'évaluation de la stabilité structurale nous permet de tirer quelques conclusions :

a) Sols limoneux : Monnier (11) a utilisé le *taux d'agrégats stables après traitement au benzène* (Ag B) comme indice de l'action de la matière organique. Pour les sols sous prairie et les sols de limon cultivés du Val de Saône, nous avons observé une corrélation étroite entre ces deux valeurs (P supérieur à 0,001 pour le coefficient de régression et le coefficient de corrélation $r = + 0{,}88$). L'équation de régression est la suivante (représentation graphique VI) :

Ag B p. 100 = 2,4 + 7 M. O. p. 100.

La comparaison du *taux d'agrégats stables à l'eau sans prétraitement* (Ag E) avec la teneur en fer libre correspondante fait apparaître aussi une corrélation entre ces deux variables. Elle est moins étroite que dans le cas précédent (P = 0,01 pour le coefficient de régression et P compris entre 0,01 et 0,001 pour le coefficient de corrélation $r = + 0{,}68$). Elle s'exprime ainsi :

$$AgE\ \% = 8{,}8 + 2{,}3Fe\ ‰.$$

La droite de régression est tracée sur le graphique VII.

En 1936, J. F. Lutz (12) avait trouvé un lien très étroit entre la teneur en fer libre et la quantité d'agrégats stables à l'eau. D'après lui, l'action du fer est double ; d'une part, la fraction en solution peut agir comme floculant ; d'autre part, la fraction colloïdale exerce un pouvoir ciment.

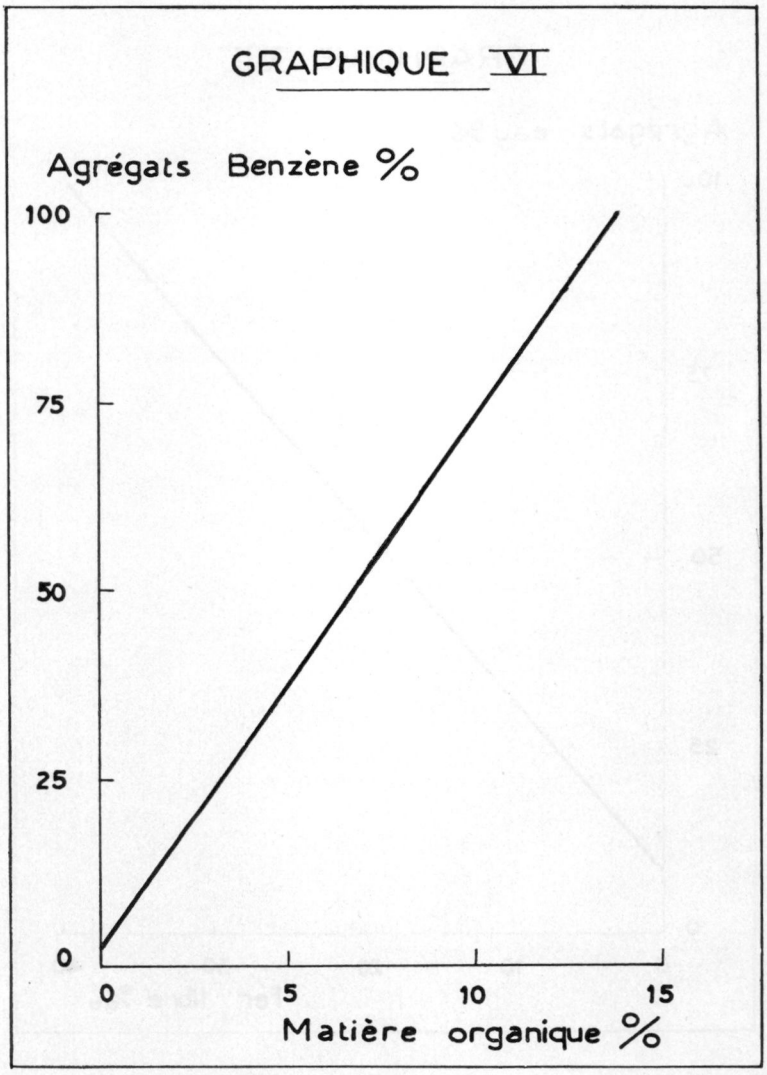
On observe une variation dans le même sens entre le taux de ces agrégats et la teneur en argile.

Le *taux d'agrégats stables à l'eau après traitement à l'alcool*, d'après S. Henin, O. Robichet et A. Jongerius (5), « donne une image de l'état d'agrégation initial, c'est-à-dire de la résistance des agrégats aux actions de pénétration de l'eau ». Conformément à leurs résultats, les valeurs trouvées dans les sols limoneux du Val de Saône par l'application du test à l'alcool montrent une élévation de la stabilité des agrégats.

L'indice Is varie de 0,11 à 0,75 pour les sols de *prairies*, traduisant ainsi une très bonne stabilité structurale. L'amplitude des variations est trop faible pour que nous puissions retenir la variation inversement pro-

portionnelle qui semble exister entre la stabilité et la teneur en matière organique, en argile et en fer libre.

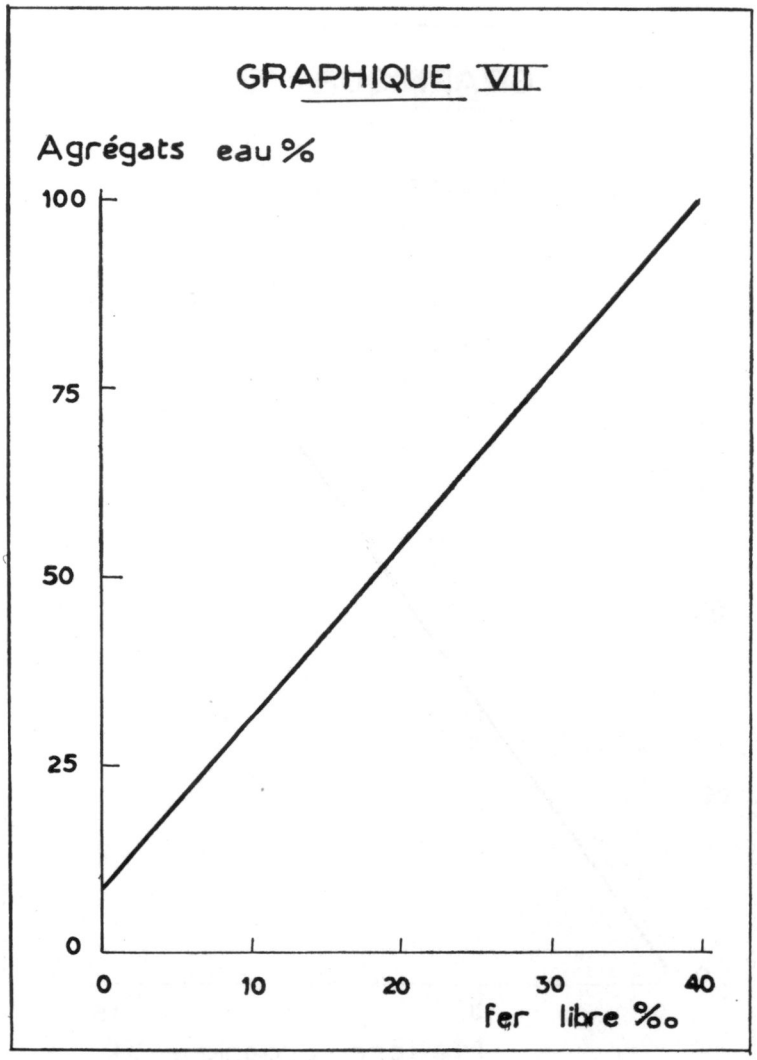
De façon générale, la stabilité diminue avec la profondeur. Toutefois, pour le profil sous prairie d'Esbarres VT 6, on observe un léger accroisse-



ment de la stabilité des agrégats dans les couches inférieures. C'est jusqu'ici le seul indice qui soit en accord avec la supériorité de l'état physique apparent de ce sol.

Le *coefficient K*, traduisant l'effet des cations, est très variable. Mieux que les critères précédents, il semble refléter la qualité de la prairie

qui s'y trouve installée : les pâturages les meilleurs (Esbarres VT 6 et Perrigny S/ l'Ognon VT 11) ont une valeur de K élevée (108 à 183 cm/heure) tandis que ce coefficient diminue pour les prairies moyennes (48 cm/heure) et médiocres (23 cm/heure).



Il nous a paru intéressant de relier ces valeurs de K à la teneur en cations floculants du complexe, c'est-à-dire à la somme Ca + Mg. Il semble exister une certaine corrélation entre K et Ca + Mg. La probabilité n'en a pas été calculée.

b) Sols sableux : Dans l'ensemble, le coefficient d'instabilité croît avec la profondeur, c'est-à-dire qu'il varie en sens inverse du taux de

matière organique. D'un sol sableux à l'autre, les valeurs de ce coefficient ne présentent pas de différence significative.

Il est toutefois intéressant de remarquer que le taux d'agrégats, après traitement au benzène (Ag B), défalcation faite des sables grossiers, est plus élevé dans les sols de grande culture que dans les sols maraîchers, bien que ces derniers soient plus riches en matière organique.

Les variations du coefficient K n'ont pas suffisamment d'amplitude pour être interprétées.

c) Dans les sols de limon plio-quaternaire, la stabilité est moins bonne en surface (Is = 1,34 ou 1,85). En sous-sol, elle est très mauvaise dans la terre battante (VT 72) et meilleure dans les couches argileuses sous-jacentes. La valeur du coefficient K est conforme à celle de l'indice d'instabilité : c'est-à-dire d'autant plus élevée que cet indice est faible. Comme dans le cas des sols sous prairie, K semble assez proportionnel à Ca + Mg.

En résumé, la stabilité structurale des sols du Val de Saône est très bonne pour les sols de limon sous prairie et pour les sols sableux cultivés. Les sols sableux maraîchers sont inférieurs à ce point de vue. La structure des rougets est de stabilité moyenne, et celle des herbues de mauvaise stabilité.

2. — Propriétés chimiques.

A. — Matière organique.

Nous considérerons les données analytiques suivantes : taux de matière organique (à partir de N et à partir de C) et d'humus, rapport C/N.

a) Sols limoneux et argileux de prairies : Ici, la matière organique est très abondante. Elle l'est d'autant plus que la qualité de la prairie est supérieure. C'est ainsi que les « bonnes » prairies en contiennent environ 9 p. 100, tandis que ce chiffre passe à 6 p. 100 dans les prairies moyennes et 4,5 p. 100 dans les médiocres.

b) Sols sableux : Dans les sols de grande culture, la teneur en matière organique est plus faible (de 1,7 à 2,3 p. 100) que dans les sols maraîchers (2,8 à 3,7 p. 100) qui sont d'ailleurs beaucoup plus noirs. Le rapport C/N est partout voisin de 10, mais le taux d'humification est dans l'ensemble assez bas (2 à 3 p. 100). La valeur de 8,2 p. 100 atteinte pour l'échantillon VT 31 est exceptionnelle.

c) Sols de limon cultivés : Les sols de limon battant sont pauvres en matière organique (2 p. 100) ; les sols argileux en contiennent davantage (3,5 p. 100).

Si l'on considère l'ensemble des sols cultivés du Val de Saône (à l'exclusion des sols maraîchers), on observe une certaine variation paral-

lèle des taux de matière organique et des taux d'argile. Cette observation n'est pas nouvelle, puisque P. GOUNY (13) sur des sols du midi de la France, a mis en évidence une corrélation significative entre ces deux variables. Pour les sols qu'il a étudiés, une augmentation de la teneur en argile de 10 p. 100 en valeur absolue entraîne une élévation du taux d'azote de 0,23 p. 1000 (soit 0,46 p. 100 de matière organique). Dans l'Aisne, J. HEBERT (14) cite des résultats à partir desquels on peut déduire une variation analogue.

Pour les sols de grande culture du Val de Saône, une telle variation de l'argile entraîne une variation de la matière organique voisine de 0,5 à 0,6 p. 100. On constate qu'il s'établit un équilibre entre la destruction de la matière organique et les apports qui sont faits au sol. Le niveau d'équilibre est d'autant plus élevé que le sol est plus argileux.

Dans le cas des sols maraîchers, le niveau de matière organique est plus élevé que dans les sols de granulométrie identique, car les apports sont très abondants et l'équilibre est déplacé vers le haut.

Quant aux sols de prairie, leur richesse en matière organique est due aux conditions de milieu défavorables à la destruction de cet élément.

B. — Capacité d'échange de cations.

La capacité d'échange de cations a été déterminée par l'acétate d'ammonium à pH 7 sur 61 échantillons de sols et sous-sols du Val de Saône. Des valeurs trouvées, nous avons déduit une corrélation très étroite entre la capacité d'échange à pH 7 en meq pour 100 g (y) et le pourcentage d'argile (x). L'équation de régression calculée s'exprime par :

$$y = 0{,}59 + 0{,}71\ x.$$

Elle est représentée sur le graphique VIII.

Le coefficient de corrélation $r = 0{,}96$ et le coefficient de régression sont hautement significatifs ($P = 0{,}001$).

Par rapport à la droite de régression, les points représentatifs se situent ainsi :

Sols	52 % au-dessus de la droite
Sous-sols	60 % au-dessous de la droite

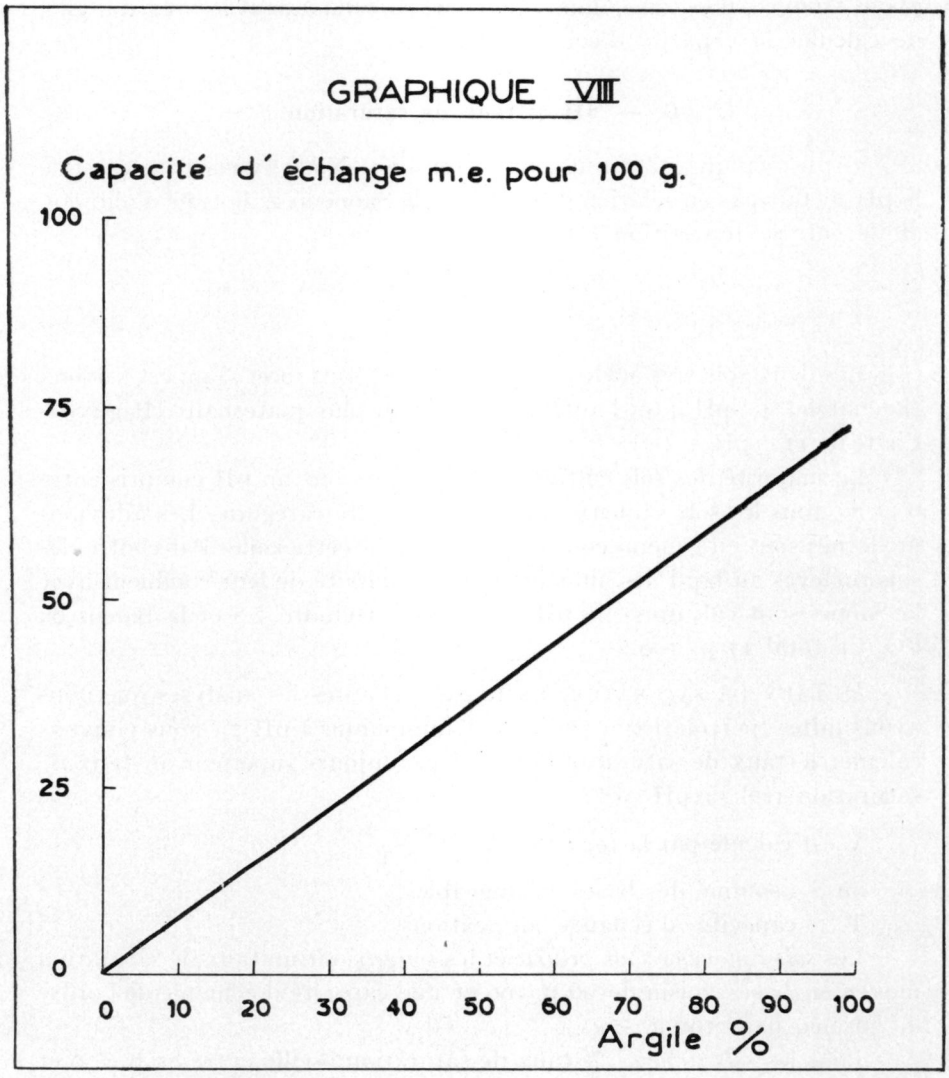
Cette répartition met en évidence l'influence de la matière organique sur la capacité d'échange de bases des terres. Cette influence n'apparaît pas dans l'équation précédente, mais elle est indirecte car, ainsi que nous l'avons vu au chapitre précédent, le taux de matière organique varie dans le même sens que le taux d'argile.

Pour des sols calcaires, R. WILLIAMS (15) a trouvé, entre la somme des bases (T) le poucentage de Carbone total (C) et le taux d'argile (A), la relation suivante :

$$T = 0{,}57\ A + 4{,}55\ C.$$

L'identité entre ces deux relations ne peut exister que pour un taux de carbone très faible, répondant à l'équation suivante :

$C = 0{,}13 + 0{,}025\ A.$



Or, dans les sols du Val de Saône, le pourcentage de Carbone est bien supérieur ; il est compris entre 0,04 et 0,4 A.

La comparaison de la capacité d'échange expérimentale à la capacité calculée à partir de la formule de WILLIAMS montre, pour les sols de cette région, une très nette supériorité des chiffres obtenus par calcul. L'erreur par excès varie de 20 p. 100 dans les sols sableux à

60 p. 100 dans les sols argileux, montrant bien que l'équation de WILLIAMS, pour la région que nous avons étudiée, surestime la capacité d'échange de la matière organique.

Quoi qu'il en soit, étant donnée la corrélation très étroite que nous avons trouvée, il est aisé, dans ce terroir, en connaissant le taux d'argile, de calculer la capacité d'échange des sols.

C. — pH et taux de saturation.

a) pH : Cinquante profils ont été étudiés. Nous avons constaté que le pH n'était pas en relation dans le Val de Saône avec le type d'alluvion et de sol. Sa répartition est la suivante :

pH	inf. à 6	6 à 6,5	6,6 à 7	sup. à 7
Nombre de sols	2	21	13	14

Les deux sols très acides ont été prélevés sous forêt ; l'un est sableux (Lechatelet 4 : pH 4,6), l'autre est sur limon plio-quaternaire (Pagny-le-Château 11 : pH 5,3).

La majorité des sols cultivés et de prairies ont un pH compris entre 6 et 7 : tous les sols sableux figurent dans cette catégorie. Les alluvions modernes sont en général comprises aussi dans cette zone. Par contre, les sols prélevés au bord des affluents, ou à proximité de leur confluent avec la Saône, sont calcaires. Le pH peut alors atteindre 7,8 et la teneur en CO_3 Ca total 17 p. 100.

b) TAUX DE SATURATION EN BASES : D'après les analyses que nous avons faites (percolation à l'acétate d'ammonium à pH 7), nous pouvons calculer le taux de saturation V à pH 7, toujours supérieur au taux de saturation réel (à pH 9).

V est calculé par la formule : $V = \frac{S \times 100}{T}$

où S : somme des bases échangeables,

T : capacité d'échange de cations.

Les *sols limoneux sous prairie* et les *rougets* ont un taux de saturation moyen en bases voisin de 90 p. 100 et une capacité d'échange de l'ordre de 30 meq pour 100 g.

Pour les *sols sableux*, le taux de saturation oscille entre 85 p. 100 et 95 p. 100. Sa valeur moyenne est 90 p. 100.

Les *herbues*, plus acides, ont un taux de saturation plus bas (80 p. 100) pour une capacité d'échange de cations de l'ordre de 12 meq pour 100 g. Leur besoin en chaux, pour atteindre la neutralité, est en principe de deux tonnes par hectare. La chaux à action énergique vis-à-vis de la régénération de la structure sera préférée au calcaire broyé.

Les apports d'amendement calcaire, quand ils sont conseillés, n'ont

pas pour but d'augmenter la quantité de calcium pour la nutrition de la plante, mais il sont destinés, ainsi que nous l'avons déjà souligné, à agir sur la structure du sol et à favoriser la minéralisation de la matière organique.

D. — Éléments échangeables.

a) Calcium échangeable : Il représente toujours une fraction importante des cations échangeables. Les teneurs sont les suivantes :

— 21,4 à 30,8 me., c'est-à-dire 92 p. 100 des cations échangeables dans les sols de prairie.

— 4 à 7,8 m. e. pour 100 g, soit 83 à 94 p. 100 de la somme des bases dans les sols sableux.

— 9,2 à 19,4 m.e. ou 90 p. 100 dans les herbues et les rougets.

On peut déduire de cet inventaire que l'état calcique des sols est dans l'ensemble satisfaisant.

b) Magnésium échangeable :

a') *Sols de prairies* : Dans ces sols, le taux de magnésium est plus élevé et varie de 1,2 à 2,6 m. e. pour 100 g, soit 3,5 à 7,5 p. 100 de la somme des bases échangeables.

Le rapport Ca/Mg est compris entre 12 et 21. Bear (16) donne comme idéal un rapport de 6,5. Mais, Demolon (14) cite pour le limon de Versailles une valeur de 15.

b') *Sols sableux* : Dans les sols « *sableux purs* », sa teneur est de 0,2 m. e. pour 100 g ou 4 p. 100 de la somme des bases échangeables. Cette quantité est plus élevée dans les « *sols sableux mélangés* » où elle atteint 0,5 m. e. pour 100 g, ou 10 p. 100 de la somme des bases. Le rapport Ca/Mg, très élevé dans les sols sableux purs (15 à 18) diminue dans les sols « sableux mélangés » jusqu'à atteindre la valeur 10.

Les sols maraîchers sont, sous l'angle du magnésium, en tous points comparables aux « sables purs ».

Remarquons que le rapport très élevé dans les sables peut traduire le lessivage important du magnesium en sols meubles.

c') *Herbues et rougets* : Dans les herbues, le taux de magnesium est de 0,8 m. e., soit 5 p. 100 de la capacité d'échange et le rapport Ca/Mg de 11. Dans les rougets, ces valeurs sont respectivement : 2,2 m. e., 9 p. 100 et 9.

Ces chiffres sont supérieurs à ceux que Demolon (17) indique pour les « boulbènes » analogues à nos herbues et qui n'atteignent que 5, ainsi qu'à ceux de J. S. Joffe (18) qui indique 3,2 pour les sols bruns.

D'après plusieurs auteurs (16-19), les teneurs idéales en magnesium dans les régions humides de New-Jersey sont de 10 p. 100 de la capacité

d'échange de cations. Pour un taux inférieur à 6 p. 100 de la capacité d'échange, les sols répondent à l'application de magnesium. Il semble donc bien que les prairies et les herbues du Val de Saône puissent être justiciables d'un apport de cet élément.

c) POTASSIUM ÉCHANGEABLE ET POTASSIUM MORGAN-BARBIER :

La teneur en potassium échangeable des sols du Val de Saône est très variable : elle passe de 0,06 à 0,40 m. e. pour 100 g. Ces chiffres ne sont intéressants que s'ils sont rapportés à la capacité d'échange de cations des sols correspondants. C'est ainsi que le rapport du potassium échangeable à la capacité d'échange de bases à pH 7 prend, avec les différents types de sols les valeurs données dans le tableau IV.

D'après certains auteurs (20), on pourrait considérer comme optimum le rapport de 5 p. 100 qui, nous le voyons, est rarement trouvé dans les sols du Val de Saône (sauf dans un sol sableux Pagny VT 31). Ceci met immédiatement en évidence leur médiocrité et parfois leur carence en potassium.

Le rapport Ca/K, d'après la même source, doit être voisin de 13. Mais dans les sols que nous avons étudiés, ce rapport est en général supérieur, en raison de la déficience en potassium. Notons que DEMOLON (17), en inventoriant quelques sols de France, trouve des valeurs de Ca/K souvent plus élevées que les nôtres.

	$\frac{K \times 100}{C.\ E.}$	$\frac{Ca}{K}$	$\frac{K_2O \text{ échan.}}{K_2O \text{ M/B}}$
Sols sableux « purs «	3,8	23	1,65
Sols sableux « mélangés »	1 à 6,6	12 à 90	1,1 à 3,4
Sols sableux maraîchers «crus »	1,2 à 3,8	18 à 72	1,6 à 2,8
Sols sableux maraîchers «bons »	2,3	34	2,1
Sols de prairie	0,9 à 1,4	62 à 150	8 à 19
Herbues	0,97	73	3
Rougets	2,3	51	6

Nous avons dosé, dans les sols du Val de Saône, le potassium échangeable et le potassium extrait par le réactif acéto-acétique de la méthode MORGAN-BARBIER. Cette méthode étant très souvent utilisée pour des analyses rapides, nous avons cherché à préciser la clé d'interprétation des résultats ainsi obtenus, en considérant comme normalement pourvus les sols dont le potassium échangeable représente 5 p. 100 de la capacité d'échange, et comme pauvres, ceux pour lesquels ce rapport est de 1 p. 100 ; cette valeur est d'ailleurs confirmée par BEAR (20).

En tenant compte pour chaque type de sol du rapport K_2O échangeable sur K_2O M. B. nous avons établi les normes d'interprétation sui-

vantes des résultats de potasse MORGAN-BARBIER exprimés en p. p. m. (mg/kg de terre) et de potasse échangeable :

	Sols sableux (3 à 9 % d'arg.)	Sols de prairies		Herbues 15 % d'arg.	Rougets 40 % d'arg.
		35 % d'arg.	50 % d'arg.		
Carence (inf. à 1 % de la C. E.					
Échangeable °/₀₀	inf. à 0,025	inf. à 0,12	inf. à 0,18	inf. à 0,05	inf. à 0,14
M. B. p. p. m.	inf. à 15	inf. à 15	inf. à 10	inf. à 20	inf. à 30
Besoins élevés (2 % de C.E.)					
Échangeable °/₀₀	0,05	0,24	0,36	0,10	0,28
M. B. p. p. m.	30	30	20	40	55
Pas de besoins immédiats (5 % de la C. E.)					
Échangeable °/₀₀	0,12	0,60	0,90	0,30	0,70
M. B. p. p. m.	75	75	55	100	140

Nous pouvons donc résumer ainsi les besoins en potasse des sols du Val de Saône :

— *Sols de prairies* : besoins très élevés (aucun apport d'engrais potassiques n'a jamais été fait sur les prairies que nous avons étudiées).

— *Sols sableux cultivés et maraîchers* :

a) Besoins modérés quand une fumure potassique assez récente (ne remontant pas à plus de deux ans) a été appliquée.

b) Besoins élevés en l'absence de fumure, mais pas de carence réelle.

— *Herbues* : besoins très élevés.

— *Rougets* : besoins élevés.

d) SODIUM ÉCHANGEABLE : Bien que l'étude de cet élément ne présente pas d'intérêt dans notre région où le sodium est toujours en quantité très faible, nous avons résumé, dans le tableau ci-après, le niveau sodique des différents sols.

Dans un sol normal, d'après DUCHAUFOUR (7), la proportion de sodium échangeable est inférieure à 1 p. 100. Parmi les sols du Val de Saône, les sols sableux en contiennent davantage. Peut-être l'emploi antérieur de sylvinite en est-il responsable.

Pour résumer ce chapitre des bases échangeables, nous avons dressé un inventaire statistique de la répartition centésimale des différents cations, établi d'après la moyenne de toutes les déterminations que nous avons faites par type de sol.

	Ca	Mg	K	Na
Sols sableux cultivés	88,0	6,0	4,0	2,0
Sols sableux maraîchers	87,5	6,0	3,0	3,5
Sols de prairies	92	6	1,0	1
Sols de limon cultivés	90	7,5	1,5	1

E. — Acide phosphorique.

a) L'ACIDE PHOSPHORIQUE ASSIMILABLE a été dosé par la méthode DYER (extraction à l'acide citrique à 2 p. 100). Les quantités trouvées sont très variables :

— les sols de prairie sont tous extrêmement pauvres en acide phosphorique assimilable;

— les sols sableux de grande culture ont, à l'état naturel, une teneur médiocre en cet élément, mais des apports relativement modérés d'engrais phosphatés peuvent les enrichir sensiblement ;

— les sols sableux maraîchers sont, en général, très riches parce que surabondamment pourvus en engrais;

— les herbues et les rougets cultivés sont très pauvres en acide phosphorique assimilable.

b) Sur les mêmes terres, l'ACIDE PHOSPHORIQUE a été dosé par la méthode MORGAN-BARBIER.

Pour préciser la clé d'interprétation de ces résultats, nous avons, comme dans le cas de la potasse, calculé le rapport entre les quantités d'éléments assimilables et d'éléments extraits par le réactif acéto-acétique pour chacun des sols étudiés.

Le rapport moyen P_2O_5 citrique/P_2O_5 M. B. s'établit ainsi par type de sol :

sols de prairie	10 à 25
sols sableux de grande culture	17
sols maraîchers	28
sols de limon cultivé	25

Notons toutefois que la dispersion autour de ces moyennes est assez importante, et que, par conséquent le tableau suivant ne donne qu'une approximation :

Interprétation des dosages de P_2O_5 par la méthode MORGAN-BARBIER.

	Sols sableux de grande culture	Sols sableux maraîchers	Sols de prairie herbues — rougets
Sols très riches	sup. à 25	sup. à 20	sup. à 20
Sols riches	15 à 25	10 à 20	15 à 20
Sols moyennent pourvus	10 à 15	7 à 10	8 à 15
Sols pauvres	5 à 10	3 à 7	3 à 8
Sols très pauvres	inf. à 5	inf. à 3	inf. à 4

Il apparaît, à la lueur des résultats obtenus sur les teneurs en acide phosphorique des sols du Val de Saône, que :

— les sols de prairies seront, pendant un certain nombre d'années, enrichis par des fumures phosphatées bien supérieures aux besoins de la prairie. Quand leur réserve phosphatée sera relevée, ils recevront alors annuellement des fumures normales ;

— les sols sableux, à faible pouvoir absorbant, ne devront recevoir chaque année que la quantité d'acide phosphorique nécessaire à la croissance des végétaux cultivés ;

— les sols maraîchers, dans l'ensemble trop approvisionnés en engrais, pourront être restreints, sans dommage pour les cultures ;

— les herbues et rougets subiront avantageusement le traitement des sols de prairie.

VII. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

1. — Rappel des principaux types de sols et aptitudes culturales.

D'après les différentes notions exposées, nous avons classé les sols, en conformité avec le point de vue des praticiens, en un certain nombre de types qui peuvent avoir plusieurs points communs, mais présentent toujours au moins un caractère différent. Nous nous sommes efforcés de respecter la terminologie locale, souvent très expressive, fruit d'une longue observation des agriculteurs.

C'est ainsi que nous avons dégagé les types suivants :

A. — Sols de prairie du bord de Saône, toujours sur alluvions modernes a_2, en contrebas de la première terrasse. Ils sont argileux, riches en matière organique et pauvres en éléments fertilisants. Les distinctions que nous avons faites dans cette catégorie nous semblent toutes explicables par une notion de niveau topographique par rapport à la Saône. Le concept de fertilité est, selon notre point de vue, lié, d'une part aux apports, même faibles, que le fleuve peut faire chaque année ; d'autre part, à la proximité de la nappe phréatique en période sèche.

L'aptitude culturale de tous ces sols est incontestablement la prairie en raison de leur caractère argileux et de leur submersion périodique par les eaux du fleuve.

B. — Sols sableux sur alluvions anciennes a_1, à très faible taux d'argile. Ils sont voués à la culture en raison de leur nature meuble.

Les *sols de grande culture* sont, dans l'ensemble, pauvres en matière organique et en éléments fertilisants. Comme dans le cas des sols de prairie, les différences de fertilité sont liées à la position par rapport à la Saône.

On apportera à ces sols de fortes quantités de matière organique, et des fumures phospho-potassiques assez importantes.

Les *sols maraîchers*, plus riches que les précédents en matière organique, ont en général un niveau phospho-potassique élevé car les engrais et le fumier leur sont apportés en abondance. D'après la perméabilité

de ces sols et leur faible capacité de rétention en eau, il semble que le facteur limitant la production soit l'eau, et que l'amélioration la plus importante de ces sols soit leur irrigation, à condition qu'elle soit rentable.

C. — Herbues localisées au sommet des buttes les plus anciennes. Elles sont très battantes, de mauvaise structure, imperméables, pauvres en matière organique et en éléments fertilisants. En les améliorant, il est possible d'en faire des terres de culture moyenne ou des prairies de sécurité pour la pâture des bovins en période de crue de la Saône.

D. — Rougets des pentes de ces mêmes buttes. Ils sont argileux, de nature imperméable mais ne présentent pas de difficulté d'écoulement d'eau en raison de leur position déclive. Ce sont de bonnes terres de culture qui subiront, avec bénéfice, une fertilisation phospho-potassique importante.

2. — De quelques problèmes agronomiques.

De l'ensemble de notre étude des sols, certains problèmes nous ont paru se dégager que nous exposerons brièvement.

A. — Revalorisation de la prairie.

L'ensemble des surfaces en herbe est suffisamment important pour qu'un sérieux effort soit fait en vue de la remise en valeur des prairies souvent négligées.

Certaines améliorations semblent souhaitables. Ce sont :

— le réensemencement des prairies les plus dégradées. Malheureusement, nous savons que la fréquence des inondations est souvent un obstacle à une telle pratique ;

— la régénération par des façons culturales appropriées des prairies qui ne sont pas susceptibles d'être retournées ;

— la fertilisation phospho-potassique qui devra être poussée pendant quelques années, et la fertilisation azotée par apports fractionnés de nitrate de chaux ;

— la suppression de la vaine pâture qui constitue l'obstacle majeur à toute tentative de revalorisation. Une heureuse initiative a été prise dans ce sens par la constitution, dans le cadre de la zone-témoin, d'un syndicat d'utilisation de la vaine pâture ;

— l'irrigation en période sèche.

B. — Le problème de l'eau.

Il se pose sous un double aspect :

a) L'ALIMENTATION EN EAU.

Les pluies ne sont pas assez bien réparties pendant la période de végétation pour assurer une alimentation régulière et suffisante en eau.

La nappe est, d'autre part, à une profondeur souvent trop importante pour être accessible aux racines. Dans la plupart des cas, la nécessité d'une irrigation se fait sentir.

Dans les *prairies*, elle peut s'envisager par un dispositif par aspersion. Une remontée artificielle du plan d'eau ne résoudrait pas le problème car un certain nombre de prairies pourraient alors être temporairement transformées en marécages.

Dans les *sols sableux maraîchers* de la région d'Auxonne, autrefois zone de marais, maintenant terres de forte rentabilité, il est possible que l'irrigation soit rémunératrice. Des essais devraient être effectués dans ce but.

Signalons que les *sols sableux de grande culture*, sous réserve d'alimentation en eau et d'enrichissement en humus et éléments fertilisants, sont susceptibles de devenir d'excellents sols maraîchers.

b) La colature des eaux

Une action dans ce sens est à entreprendre surtout dans les herbues des buttes qui forment transition entre le Val de Saône et la Plaine. Nous avons vu que le sous-sol argileux de ces terres battantes favorisait l'établissement d'une « nappe perchée » temporaire. Le seul remède, si l'on veut éviter la culture en planches, souvent difficile à concilier avec la mécanisation des exploitations, consiste à établir des fossés ou un système de drains en poterie. Le drainage par charrue-taupe est exclu, en raison de l'instabilité de la structure du sous-sol.

C. — Régénération de la structure des herbues.

Aucun problème de structure ne se pose dans les sols d'alluvions sableuses et argileuses mais il n'en est pas de même dans les herbues.

Ces terres, bien que n'appartenant pas au strict Val de Saône, peuvent en réalité s'intégrer dans l'économie de cette région, car il est possible d'y créer des prairies de fauche utilisables comme pâture en période de submersion.

La régénération de la structure peut s'envisager à l'échelon individuel par apports massifs de matière organique et par chaulage ou par la pratique du ley-farming.

***

Cette étude du Val de Saône nous a permis de préciser la genèse et le degré d'évolution des sols. Elle nous a aussi fait connaître les propriétés de ces sols et nous laisse prévoir les possibilités d'amélioration.

Il serait souhaitable que certains essais soient entrepris pour étu-

dier la rentabilité des améliorations que nous proposons après avoir pris connaissance des besoins du sol.

De cette façon, le Val de Saône, peu favorisé sous l'angle du sol, pourrait, moyennant l'abandon de certaines coutumes ancestrales, prétendre à une productivité élevée et s'inscrire dans le cadre des régions évoluées.

Reçu pour publication le 11 *septembre* 1958.

ANNEXE

Localisation des principaux profils

Prélèvements antérieurs à 1957

Désignation	Coordonnées Lambert
Auxonne 1	830,4 × 243,9
2	830,5 × 249,5
Charrey 1	814,8 × 234,6
Echenon 1	823,4 × 239,8
Essertenne 1	838,5 × 271,0
Gray 7	846,1 × 276,8
24	846,3 × 277,8
34	847,7 × 279,3
Heuilley 1	836,8 × 264,0
2	834,6 × 263,8
Les Maillys 1	827,6 × 240,5
2	827,8 × 242,2
La Bruyère 1	814,1 × 231,3
2	813,8 × 229,8
Pagny La Ville 1	814,5 × 233,3
2	814,6 × 233,1
3	813,9 × 233,4
Pagny Le Chateau 1	816,1 × 231,4
St Jean de Losne 1	823,2 × 237,8
Poncee Les Athée 1	830,4 × 253,1
Seurre 1	813,0 × 225,4
2	812,0 × 224,3
Talmay 1	835,5 × 265,5
Vonges 1	831,7 × 259,4

Val de Saone type (prélèvements 1957)

La Bruyère	VT 1	813,5 × 229,8
Le Chatelet	VT 2	813,2 × 232,1
Pagny La Ville	VT 3	817,2 × 233,3
St Symphorien	VT 4	823,5 × 237,6
	VT 5	824,5 × 237,6
Esbarres	VT 6	818,8 × 235,8
Franxault	VT 7	822,3 × 230,3
	VT 8	822,5 × 231,5
Auxonne	VT 9	830,8 × 246,6
	VT 10	831,2 × 247,6
Perrigny S/L'ognon	VT 11	834,9 × 262,2
Les Maillys	VT 12	828,7 × 241,6

RÉSUMÉ

Le Val de Saône est constitué de sols bruns alluviaux à nappe, de sols bruns faiblement lessivés et de sols lessivés à pseudogley. Dans ce terroir, le concept de fertilité est, selon l'opinion des auteurs, lié à la position topographique et à la distance de la Saône.

Le problème de l'eau se pose suivant les sols sous un de ses deux aspects :

irrigation et drainage. Dans les sols battants des buttes bordières, la structure défavorable doit être améliorée.

L'importance des surfaces en herbe est telle qu'un effort sérieux sera entrepris avec profit pour la remise en valeur des prairies.

SUMMARY

Pedological and agronomical consideration of the Saone valley.

The Saone valley is covered with alluvial brown ground-water soils, slightly leached brown soils, and leached pseudo-gleys. The fertility of these soils is associated with their topographical position and distance from the Saone river.

The problem of water in the various soils is connected with either irrigation or drainage. The unfavourable structure of soils subject to compaction around the bordering mounds should be corrected.

Due to the importance of a grass cover, a serious effort should be made towards the reestablishment of grassland.

ZUSAMMENFASSUNG

Bodenkundliche und landwirtschaftliche Betrachtungen zu dem Saônetal.

Das Saônetal besteht aus angeschwemmten Braunerden, aus mässig ausgelaugten Braunerden und aus ausgelaugten Böden mit Pseudogley. In dieser Gegend ist der Fruchtbarkeitsbegriff abhängig, nach der Meinung der Autoren, von der topographischen Lage und von der Entfernung der Saône.

Je nach dem Boden, muss das Wasserproblem nach einem der beiden Gesichtspunkte : Bewässerung und Entwässerung betrachtet werden. In den verschlämmbaren Böden der Hügel längst des Flusses muss die ungünstige Struktur verbessert werden.

Die unter Grass befindliche Fläche ist so gross, dass man sich ernstlich bemühen wird, diese Wiesen zu verwerten.

Педологическое и агрономическое рассмотрение долины Соны.

Г-жа С. МЕРИО, Ж. ЖИЛЛИ (при техническом Сотрудничестве Б. ЛЯМОНТР).

Дижонская агрономическая Станция.

РЕЗЮМЭ

Долина Соны имеет коричневые почвы аллювиальные с горизонтом воды, коричневые почвы слабо выщелоченные и почвы выщелоченные с ложным глеем. В этой местности, понятие о плодородии, по мнению авторов, связано с топографическим положением и с расстоянием от Соны.

Что касается водного вопроса, то задача может быть, в зависимости от почвы, двоякая : орошение или осушение. Плохая структура легкослегающихся почв прибрежных холмиков должна быть улучшена.

Площади занятые травой настолько значительны, что будет сделано большое усилие для улучшения лугов.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) AUBERT (G.) et BETREMIEUX (R.). — « Étude des sols des prairies maré cageuses de la région de Gray ». *Ann. agr.*, p. 389 à 408 (1944)
(2) MERIAUX (S.). — « Contribution à l'étude de l'analyse granulométrique ». Thèse (1953).
(3) COLEMAN (E. A.). — « A laboratory procedure for determining the field capacity of soils. *Soils sc.*, v. 63, p. 277 (1947).
(4) HENIN (S.) et MONNIER (G.). — « Évaluation de la stabilité de la structure du sol ». Rapport du 6e C. I. S. S., vol. B, p. 49 à 50 (1956).
(5) HENIN (S.), ROBICHET (O.) et Coll. — « Principes pour l'évaluation de la stabilité structurale du sol ». *Ann. agr.*, p. 537 à 557 (1955).
(6) MERIAUX (S.), GILLY (G.) et Coll. — « Sur le lessivage des sols de la Plaine de la Saône ». Bull. de l'A. F. E. S. nº 83, p. 715 à 727 (1957).
(7) DUCHAUFOUR (Ph.). — « Pédologie. Applications forestières et agricoles ». Nancy, p. 95 à 103 (1956).
(8) DUCHAUFOUR (Ph.). — « Sur le rôle de la matière organique dans les phénomènes de lessivage et de podzolisation ». C. R. Ac. Sc. T. 245, p. 1154 à 1157 (1957).
(9) BAVER (L. D.). — « Soil physics (3rd edition). John Wiley & Sons Inc. New-York.
(10) BRIGGS (L. J.) et SHANTZ (H.L.). — « The wilting coefficient for different plants and its indirect determination. *U. S. Departm. Agr. Bur.-Plant Ind. Bull.*, 230 (1912).
(11) MONNIER (G.). — « Influence des prairies temporaires sur la structure d'un sol de limon ». *C. R. Ac. agr.*, p. 227 à 230 (1957).
(12) LUTZ (J. F.). — « The relation of free iron in the soil to aggregation ». *Soil Sc. Amer. Proc.* nº 1, p. 43 à 45 (1936).
(13) GOUNY (P.). — « Exemples de relations entre diverses caractéristiques physico-chimiques du sol ». *C. R. Ac. agr.*, p. 431 à 433 (1957).
(14) HEBERT (J.). — « Le problème de l'humus dans les régions de culture industrielle du nord de la France ». *C. R. Ac. agr.*, p. 427 à 431 (1957).
(15) WILLIAMS (R.). — « The contribution of clay and organic matter to the base exchange capacity of soils ». *J. agr. sc.*, **22**, p. 845 à 881 (1932).
(16) BEAR (F. E.). — « Soils and fertilizers » 4th edition, p. 283.
(17) DEMOLON (A.). — « Dynamique du sol, 5e édition, p. 384.
(18) JOFFE (J. S.). — « Pedology » 2nd edition, p. 248.
(19) PRINCE (A. B.), ZIMMERMANN (Z.) et Coll. — « The magnesium supplying powers of 20 New-Jersey soils ». *Soil sc.*, **63**, p. 59 à 67 (1947).
(20) BEAR (F. E.). — « Soils and fertilizers », 4th edition, p. 253.

DYNAMIQUE DU POTASSIUM DANS LE SOL ET ALIMENTATION POTASSIQUE DES PLANTES

PAR

A. STRASMAN, P. QUIDET et R. BLANCHET

Station centrale d'Agronomie, Versailles.
Société commerciale des Potasses d'Alsace, Paris.

PLAN DU MÉMOIRE

Introduction.

Diverses formes du potassium dans le sol.
Diverses formes du potassium et critères de fertilité.

Données culturales.

Principales caractéristiques de ces sols.
Indice de réaction I_J de la pomme de terre à la fumure potassique.
Indice de réaction I_M pour l'ensemble des cultures.

Les déterminations physico-chimiques.

Concentration de la solution du sol.
Détermination des éléments échangeables.
Étude de la désorption du potassium.
Établissement d'un indice de régénération.

Établissement de corrélations entre les tests et les résultats culturaux.

Résultats.
Influence de la nature du complexe absorbant sur la dynamique de l'ion K^+.
Représentation graphique des résultats.
Indications sur le mode de nutrition potassique des plantes.

Conclusions.

I. — INTRODUCTION

On ne peut espérer prévoir correctement la fumure potassique nécessaire à une culture que si l'on parvient à connaître d'une façon assez précise les formes que revêt cet élément dans le sol. Chaque forme reconnue devrait être caractérisée par sa quantité, la manière dont cette

quantité varie sous l'effet des divers facteurs susceptibles de la modifier, et par la facilité avec laquelle l'élément retenu sous cette forme peut être prélevé par les plantes, c'est-à-dire son degré d'assimilabilité.

A. — Diverses formes du potassium dans le sol.

Potassium de constitution des silicates.

Le potassium de constitution des silicates non argileux est celui qui, dans sa quasi totalité, est associé aux produits d'altérations des roches-mères par des liaisons silicatées très stables. Participant peu à l'alimentation de la plante, il ne présente d'intérêt que dans la mesure où il évolue vers des formes moins liées.

Potassium échangeable.

Le potassium lié aux produits ultimes d'altérations évolue vers des combinaisons très fragiles constituées par K adsorbé sur le complexe adsorbant.

A l'équilibre entre le sol et la solution, l' « activité totale » (1) des ions K^+ est identique dans les phases solides et liquides, bien que les concentrations soient différentes. S'il y a rupture d'équilibre, une nouvelle distribution s'établit de telle sorte que l'égalité précédente soit respectée.

Cette rupture d'équilibre peut être dûe soit à la variation du rapport $\frac{\text{sol}}{\text{solution}}$ dans une concentration saline globale donnée, soit à la variation de la concentration saline globale pour un rapport sol/solution donné. Dans les sols en place, ces deux facteurs jouent simultanément.

Les équilibres de K échangeable s'établissent presque instantanément.

En épuisant un sol par une solution d'un sel neutre assez concentrée, on désorbe toute la potasse échangeable.

Le potassium rétrogradé (2)

C'est une forme sous laquelle le potassium est lié avec une énergie intermédiaire à celle de K total et K échangeable.

En effet, les feuillets de certaines argiles, notamment les illites, dans lesquelles la substitution d'un ion Al^{3+} à un ion Si^{4+} crée un déficit de charge, emprisonnent des ions K^+ entre eux.

Un équilibre s'établit entre K échangeable et K rétrogradé.

Cette fraction est en première approximation identifiable à la potasse extraite par l'action d'acides minéraux de concentration environ 2 N après extraction préalable de K échangeable.

Influence de l'humus sur l'évolution du potassium.

L'humus associé à l'argile augmente la capacité d'échange du sol, donc la capacité d'adsorption vis-à-vis des ions K^+. D'autre part, CHAMINADE (3) a mis en évidence son action favorable sur la nutrition des plantes en pratiquant des essais de Neubauer, en solutions nutritives, et en vase de végétation.

B. — Diverses formes de potassium et critères de fertilité.

La potasse de la solution du sol paraît être la forme la plus assimilable pour la plante. Sa détermination pour un rapport $\frac{\text{sol}}{\text{solution}}$ et une concentration saline voisine des conditions naturelles paraît à priori constituer un bon critère.

La potasse échangeable, qui constitue un stock, devrait être aussi un bon critère. Cependant le K échangeable peut être adsorbé avec diverses énergies qui interviennent vraisemblablement dans son assimilabilité. D'autre part, la détermination proprement dite du stock de K échangeable est sujette à caution dans les sols qui rétrogradent notablement, car du K rétrogradé peut régénérer au fur et à mesure de l'extraction.

Nous nous proposons dans cette étude de confronter un certain nombre de tests physico-chimiques d'appréciation de la richesse potassique avec les résultats culturaux pour des types de sols très différents.

II. — DONNÉES CULTURALES

Douze champs d'essai de la Société Commerciale des Potasses d'Alsace constituent le matériel expérimental employé. Les résultats culturaux de ces champs ont été dépouillés de façon à déterminer les besoins en fumure des sols correspondants.

Dispositif général des champs.

Les champs sont divisés en 3 bandes dans le sens de la longueur. La bande centrale K_0 ne reçoit jamais de potasse. L'une des bandes latérales reçoit des fumures potassiques correspondant sensiblement aux exportations des récoltes (K_1). L'autre, K_2, reçoit une dose nettement supérieure.

Dans le sens transversal, les champs sont le plus souvent divisés en un certain nombre de soles qui correspondent à des cultures différentes.

La fumure azotée et phosphatée est uniforme. Chaque parcelle occupe 2 à 5 ares, suivant les champs.

Les 12 champs retenus sont disséminés sur tout le territoire. Leur nombre et leur diversité permettront d'établir statistiquement des relations entre tests et données culturales.

IIa. — PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DE CES SOLS.

Elles sont données dans le tableau I.

TABLEAU I

	Département	Année de création	Argile %	Calcaire %	Humus % « Chaminade »	pH	S meq/kg	T meq/kg	100 S/T
Levet	Cher.	1946	12,3		0,35	6,3	113	117	98
Toulouse Thibaut	Haute-Garone.	1930	17,3		0,34	6,5	71	95	95
Marambat	Gers.	1945	25	traces	0,42	6,4	98	124	79
Pompignac	Gironde.	1949	12,3	traces	0,41	6,9	75	78	96
La Harpe	Ille-et-Vilaine.	1933	10,5		0,7	6,6	55	88	63
Nantes-Petit Bêle	L. Atlantique.	1947	14,5		1,52	6,2	53	84	63
Beaucouze	Maine-et-Loire.	1945	12	traces	0,79	6,3	78	84	92
Woippy	Moselle.	1946	7,4	traces	0,75	6,9	58		
Pau-Saint-Léon	Basses-Pyrénées.	1950	21,3		6,75	5,9	78	161	49
La Malmare	Sarthe.	1946	12	traces		6,7			
Saint-Jean-du-Cardonay	Seine-Maritime.	1945	10,2		0,22	7,1	72	72	100
Lieusaint	Seine-et-Marne.	1931	16,7	12,5	0,4	7,4	108	108	100
Ablis	Seine-et-Oise.	1936	17,5	traces	0,28	7,5	121	133	91

Tous ces champs sont en très bon état de production. Voici une indication sur leur niveau productif (Tableau II).

TABLEAU II

Rendement absolu en Blé sur la bande K_1. (*q/ha grain*).

	Moyenne 1952-1957	Récolte de la meilleure campagne
La Harpe	55	72
Toulouse	51,3	62,5
Beaucouze	46	54
Petit Bêle	45	53
La Malmare	45	50
Saint-Jean-du-Cardonnay	43	59
Levet	43	56
Ablis	43	48,4
Marambat	43	43
Lieusaint	40	52
Woippy	31	39
Pau-Saint-Léon	moyen (1)	—
Pompignac	assez faible (1)	—

(1) Champs plutôt consacrés à la culture du maïs, qui donne de bons résultats.

Plus qu'à la valeur absolue des rendements, nous nous sommes attachés à préciser les besoins de ces sols en fumures potassiques pour diverses cultures. Ces besoins peuvent s'exprimer par le rapport du ren-

dement obtenu en K_1 ou K_2 au rendement obtenu en K_0, c'est-à-dire par l'intensité de la réaction aux engrais.

Les besoins des récoltes dépendant de l'espèce cultivée, la réaction aux engrais est plus ou moins marquée selon les cultures. Aussi sommes-nous conduits à établir un indice de réaction relatif à l'ensemble des cultures les plus caractéristiques rentrant dans l'assolement. Cet indice représente l'inverse du « pouvoir alimentaire » du sol en potassium.

D'autre part, la culture la plus sensible à la richesse potassique du sol étant la pomme de terre, on peut supposer que si la corrélation entre le test chimique et l'indice de réaction est étroite, elle le sera plus encore lorsque l'indice se rapporte uniquement à la réaction de la pomme de terre, plutôt qu'à l'ensemble des cultures. Inversement, si la corrélation est lâche, elle le sera davantage si l'indice de réaction est relatif à la pomme de terre. Ces considérations nous conduisent à retenir un indice de réaction relatif à la pomme de terre.

Nous avons été guidés pour établir ces deux indices, par le souci d'éliminer :

— Les variations du niveau absolu de fertilité, fonction notamment des conditions climatiques. On considère seulement l'intensité de la réaction aux engrais.

— Les variabilités annuelles. Nous avons considéré les campagnes 1952 à 1957 et éliminé les campagnes antérieures à 1952. Il n'était pas possible de s'appuyer sur le résultat de toutes les campagnes remontant à la création des champs. En effet, les différences de traitement et de rendement s'atténuent en remontant le cours des années et les échantillons dont on disposait, prélevés en 1957, représentent seulement l'état actuel du sol.

II*b*. — INDICE DE RÉACTION I_p DE LA POMME DE TERRE A LA FUMURE POTASSIQUE

L'indice I_p est établi en tenant compte de l'importance des fumures apportées. Il exprime l'augmentation relative de rendement en pomme de terre entre deux traitements consécutifs par kg de potassium apporté entre ces deux traitements.

1°. — Intensité i annuelle de la réaction en présence de fumure potassique.

Pour chaque champ, elle est donnée par les rapports

$$i_{0-1} = 100 \frac{\text{Rendement parcelles } K_1}{\text{Rendement parcelles } K_0}$$

$$i_{1-2} = 100 \frac{\text{Rendement parcelles } K_2}{\text{Rendement parcelles } K_1}$$

2°. — Moyenne M de cet indice i pour la période 1952-1957.

c'est $M_{0-1} = \frac{\Sigma i_{0-1}}{N \text{ (nombre d'années)}}$ et $M_{1-2} = \frac{\Sigma i_{1-2}}{N \text{ (nombre d'années)}}$

3°. — Augmentation $\bar{i}$ pour cent de rendement pour la période 1952-1957.

$$\bar{i}_{0-1} = M_{0-1} - 100 = \frac{\Sigma i_{0-1}}{N \text{ (nombre d'années)}} - 100$$

$$\bar{i}_{1-2} = M_{1-2} - 100 = \frac{\Sigma i_{1-2}}{N \text{ (nombre d'années)}} - 100$$

4°. — Augmentation I_p pour cent du rendement par kg K apporté.

$$I_{p_{0-1}} = \frac{\bar{i}_{0-1}}{\bar{x}_{0-1}}$$

$$I_{p_{1-2}} = \frac{\bar{i}_{1-2}}{\bar{x}_{1-2}}$$

Pour chaque champ, $\bar{x}$ représente la moyenne des fumures potassiques x appliquées chaque année entre deux traitements consécutifs pour la période 1952-1957.

Le tableau III donne les valeurs de I_p.

TABLEAU III

Pommes de terre.

Augmentation p. 100 *de rendement par kg de potassium apporté* I_p.

	$\frac{\Sigma \bar{i}_{0-1}}{N}$	$\frac{\Sigma \bar{i}_{0-2}}{N}$	$\frac{\Sigma \bar{i}_{1-2}}{N}$	Augm. % de rendement $\bar{i}_{0-1} = \frac{\Sigma i_{0-1}}{N} - 100$	Augm. % de rendement $\bar{i}_{1-2} = \frac{\Sigma i_{1-2}}{N} - 100$	Fumures apportées en kg K/ha $\bar{x}_{0-1}$	Fumures apportées en kg K/ha $\bar{x}_{1-2}$	Augmentation % de Rdt par kg de K apporté $I_{p_{0-1}} = \frac{\bar{i}_{0-1}}{\bar{x}_{0-1}}$	Augmentation % de Rdt par kg de K apporté $I_{p_{1-2}} = \frac{\bar{i}_{1-2}}{\bar{x}_{1-2}}$
Levet	224	244	109	124	9	95	55	1,31	0,16
Toulouse	160	225	141	60	41	83	67	0,72	0,61
Pompignac	151	103	100	51	0	115	50	0,35	0
La Harpe	324	297	100	224	0	165	165	1,37	0
Petit Bêle	220	268	117	120	17	115	115	1,04	0,15
Beaucouze	242	281	120	142	20	125	125	1,14	0,16
Woippy	130	126	100	30	0	97	55	0,31	0
Pau Saint-Léon	143	166	114	43	14	83	42	0,52	0,33
La Malmare	305	370	122	205	22	125	125	1,64	0,18
St-Jean du Cardonnay.	180	202	104	80	4	165	67	1,05	0,06
Lieusaint	273	273	113	173	13	125	42	0,64	0,31
Ablis	256	290	116	156	16	125	83	1,25	0,19

Les indices I_p relatifs aux bandes K_2 sont en général très faibles.
Donnons un exemple illustrant le mode de calcul de I_p :
Ainsi, prenons le cas du champ de Woippy.

Campagne 1954.

	Rendement en T/Ha	Fumure correspondante kg K/Ha
	—	—
K_0	13	0
K_1	17	83
K_2	17,6	125

$$i_{0-1} = 100 \times \frac{17}{13} = 131$$

$$i_{1-2} = 100 \times \frac{17{,}6}{17{,}-} = 103$$

Pour la période 1952-1957, la moyenne M de ces indices est :

$$M_{0-1} = 130$$
$$M_{1-2} = 100$$

d'où
$$\bar{i}_{0-1} = 130 - 100 = 30$$
$$\bar{i}_{1-2} = 100 - 100 = 0$$

D'autre part, pour 1954, on obtient :

$$x_{0-1} = 83 \text{ kg/ha}$$
$$x_{1-2} = 125 - 83 = 42 \text{ kg/ha}$$

Pour la période 1952-1957, on trouve :

$$\bar{x}_{0-1} = 97 \text{ kg/ha}$$
$$\bar{x}_{1-2} = 55 \text{ kg/ha}$$

On tire de ces données les indices I_p pour Woippy :

$$I_{p_{0-1}} = \frac{30}{97} = 0{,}31$$

$$I_{p_{1-2}} = \frac{0}{55} = 0$$

Conformément à un mode de calcul déjà exposé (10), la valeur de l'indice I_p dépend de la zone envisagée dans la courbe (rendements, fonction des fumures). Malgré cette réserve, on peut dire que l'indice I_p représente assez bien la réaction de la pomme de terre aux fumures potassiques, dans ces divers champs.

IIc. — INDICE DE RÉACTION I_M POUR L'ENSEMBLE DES CULTURES

On a retenu le blé, la pomme de terre, la betterave sucrière, le maïs et les légumineuses fourragères, cultures communes à la plupart des champs considérés.

A. — Conduite des calculs.

1° Intensité i annuelle de la réaction en présence de fumure potassique.

Chaque année, pour chacune des cultures et des champs, on connaît l'intensité i de la réaction :

$$i_{0-1} = 100 \frac{\text{Rendement parcelle } K_1}{\text{Rendement parcelle } K_0}$$

$$i_{0-2} = 100 \frac{\text{Rendement parcelle } K_2}{\text{Rendement parcelle } K_0}$$

2° Moyenne $\bar{i}$ de l'intensité de la réaction pour la période 1952-1957, par culture et par champ.

$$\bar{i}_{0-1} = \frac{\Sigma i_{0-1}}{\text{N (nombre d'années)}} \qquad \bar{i}_{0-2} = \frac{\Sigma i_{0-2}}{\text{N (nombre d'années)}}$$

Pour chaque culture, nous obtenons des indices partiels $\bar{i}$ assez semblables à l'indice I_p obtenu dans le cas de la pomme de terre. Mais il n'est pas possible d'additionner ces indices partiels pour aboutir à un indice d'ensemble. La répartition des espèces cultivées est, en effet, différente suivant les champs d'expérience. Pour les champs ne comprenant que des espèces réagissant peu comme le blé, la somme des indices $\bar{i}$ aboutirait à une valeur caractérisant une faible réaction aux engrais potassiques, valeur qui serait liée, non plus à une teneur suffisamment élevée en K, mais à la nature des cultures. Pour cette raison, la réaction d'une culture dans un champ donné, $\bar{i}$, a été rapportée à la réaction moyenne des réactions de la même culture dans l'ensemble des champs d'essai de la S. C. P. A.

On obtient ainsi une estimation *relative* de l'intensité de la réaction d'une culture dans le champ considéré, rapportée à la réponse moyenne de cette culture à la fumure potassique.

3° Intensité moyenne i_M de la réaction de chacune des cultures, pour l'ensemble des champs de la S. C. P. A.

L'intensité moyenne i_M de la réaction de chacune des cultures pour l'ensemble des champs d'essais de la S. C. P. A. a été relevée chaque année. Il y a à considérer les deux indices $i_{M_{0-1}}$ et $i_{M_{0-2}}$ (Tableau IV).

4° Moyenne $\bar{i}_M$ de i_M pour la période 1952-1956.

$$\bar{i}_{M_{0-1}} = \frac{\Sigma i_{M_{0-1}}}{\text{N nombre d'années}} \qquad \bar{i}_{M_{0-2}} = \frac{\Sigma i_{M_{0-2}}}{\text{N nombre d'années}}$$

Cette moyenne représente une bonne estimation de la réaction de chaque culture aux engrais potassiques. C'est donc une caractéristique de l'espèce végétale considérée.

5° Intensité $\frac{\bar{i}}{\bar{i}_M}$ de la réaction par champ et par culture ramenée à la réaction $\bar{i}_M$ par culture.

On considère donc les indices

$$\frac{\bar{i}_{0-1}}{\bar{i}_{M_{0-1}}} \quad \text{et} \quad \frac{\bar{i}_{0-2}}{\bar{i}_{M_{0-2}}}$$

Ils expriment les variations relatives de l'intensité de la réaction dans chacun des champs, variations qui s'écartent plus ou moins de la moyenne pour une culture donnée. Ainsi se trouve éliminé le facteur de variabilité dû à l'espèce culturale.

Les indices $\frac{\bar{i}}{\bar{i}_M}$ se distribueront selon les champs avec une dispersion du même ordre d'une culture à une autre. Ce caractère attaché à $\frac{\bar{i}}{\bar{i}_M}$ permet de les additionner.

6° Intensité I_M de la réaction par champ pour l'ensemble des cultures.

C'est la moyenne des indices $\frac{\bar{i}}{\bar{i}_M}$.

On fait entrer dans cette moyenne le plus élevé des deux indices :

$$\frac{\bar{i}_{0-1}}{\bar{i}_{M_{0-1}}} \quad \text{et} \quad \frac{\bar{i}_{0-2}}{\bar{i}_{M_{0-2}}}.$$

$$I_M = \frac{\Sigma \frac{\bar{i}}{\bar{i}_M}}{\text{N nombres d'espèces culturales}}$$

Le calcul de cet indice I_M permet de classer les champs en fonction de l'intensité de leur réaction à la fumure potassique en éliminant la variable dûe à la répartition inégale des espèces cultivées dans chacun des champs.

— *Donnons un exemple de ce calcul* : en reprenant le cas du champ de Woippy.

Pour 1955, on obtient en ce qui concerne la pomme de terre :

$$i_{0-1} = 100 \times \frac{17}{13} = 131$$

$$i_{0-2} = 100 \times \frac{17{,}6}{13} = 135$$

On obtient pour la période 1952-1957 :

$$i_{0-1} = 130$$
$$i_{0-2} = 126$$

D'autre part, la moyenne des indices de réaction pour l'ensemble des champs de la S. C. P. A. au cours de la période 1952-1957 est :

$$\bar{i}_{M_{0-1}} = 168$$
$$\bar{i}_{M_{0-2}} = 184$$

d'où l'on tire :

$$\frac{\bar{i}_{0-1}}{\bar{i}_{M_{0-1}}} = \frac{130}{168} = 0{,}78$$
$$\frac{\bar{i}_{0-2}}{\bar{i}_{M_{0-2}}} = \frac{126}{184} = 0{,}68$$

On ne retient ici que le 1° de ces indices.

On procède à ces calculs analogues pour les autres cultures et l'on arrive au résultat suivant :

$$I_M = \frac{1}{4}\,(0{,}96_{(blé)} + 0{,}78_{(P\ de\ T)} + 0{,}81_{(Maïs)} + 0{,}8_{(légumineuse)}) = \frac{3{,}25}{4} = 0{,}84$$

B. — Données numériques.

1° Indices $\bar{i}_M$.

Ils sont rapportés dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU IV

Indices moyens I_M par culture.
Ensemble des champs de la S. P. C. A.

	49	50	51	52	53	54	55	56	Moy. $\bar{i}_M$ 52-56
Blé :									
i_{M0-1}	108		110	106	117	120	117	116	115
i_{M0-2}	102	110	108	108	115	120	118	122	117
Maïs :									
i_{M0-1}		135	124	129	128			132	130
i_{M0-2}		130	132		120			157	139
Pommes de terre :									
i_{M0-1}	118	137	141	161	157	201	161	178	168
i_{M0-2}	123	150	144	179	167	202	176	196	184
Betteraves sucrières :									
i_{M0-1}	116	109	111	122	141	129	109	138	128
i_{M0-2}	134	115	118	145	144	121	120	132	132
Légumineuses : Fourr ;									
i^{mo_1}	111			132	128	129	126	150	133
i^{mo_1}	129			142	142	138	129	171	145

Les plantes qui réagissent le plus à la fumure potassique sont celles dont les variations de rendements sont les plus importantes. 1956 est l'année pour laquelle les indices i_M sont maxima. Il est à remarquer que 1956 a été une année humide. Un régime de forte humidité convenablement répartie est la condition d'une bonne utilisation de la potasse.

2° Indices $\frac{\bar{i}}{\bar{i}_M}$ et I_M.

Ils sont indiqués dans le tableau suivant.

TABLEAU V

Intensité I_M de la réaction ramenée à la réaction moyenne, pour l'ensemble des cultures.

$$I_M = \frac{\Sigma \frac{\bar{i}}{\bar{i}_M} \quad \text{indice moyen par champ et par culture}}{N \quad \text{nombre d'espèces cultivées}} \qquad \text{indice moyen S C P A par culture}$$

	Blé		P. de T.		Maïs		Betterave		Lég. four.		$\Sigma \frac{\bar{i}}{\bar{i}_M}$	N	I_M
	$\frac{\bar{i}_{0-1}}{\bar{i}_{M_{0-1}}}$	$\frac{\bar{i}_{0-2}}{\bar{i}_{M_{0-2}}}$	$\frac{\bar{i}_{0-1}}{\bar{i}_{M_{0-1}}}$	$\frac{\bar{i}_{0-2}}{\bar{i}_{M_{0-2}}}$	$\frac{\bar{i}_{0-1}}{\bar{i}_{M_{0-1}}}$	$\frac{\bar{i}_{0-2}}{\bar{i}_{M_{0-2}}}$	$\frac{\bar{i}_{0-1}}{\bar{i}_{M_{0-1}}}$	$\frac{\bar{i}_{0-2}}{\bar{i}_{M_{0-2}}}$	$\frac{\bar{i}_{0-1}}{\bar{i}_{M_{0-1}}}$	$\frac{\bar{i}_{0-2}}{\bar{i}_{M_{0-2}}}$			
Levet	0,97			1,33		1,33		1,11	1,33		6,07	5	1,21
Toulouse	1,09			1,23						0,91	3,23	3	1,08
Marembat									0,9		0,9	1	0,9
Pompignac			0,9			0,74			0,82		2,46	3	0,82
La Harpe	1,16		1,94						1,39		4,49	3	1,5
P. Bêle	1,23			1,47							2,7		1,35
Beaucouze	0,91			1,54						1,06	3,51	3	1,17
Woippy	0,96		0,78			0,81			0,8		3,35	4	0,84
P. St-Léon			0,91			0,96			1,02		2,89	3	0,96
La Malmare	0,89			2,03		0,74		1,34		1,37	6,37	5	1,27
St-J. du Card.	1,03		1,64					1,18	0,95		4,80	4	1,2
Lieusaint	0,99			1,1				1,12	0,86		4,07	4	1,02
Ablis	1,05			1,59			1,03		1,1		4,77	4	1,19

Groupons les champs selon leurs indices relatifs de réaction pour le blé et la pomme de terre.

— Pour les deux cultures, les champs de Pompignac et Woippy réagissent faiblement, Lieusaint et Toulouse moyennement, La Harpe et Ablis fortement.

— Les champs de Levet, Beaucouzé, Saint-Jean-du-Cardonnay, La Malmare réagissent relativement beaucoup plus sur pomme de terre que sur blé. A part le premier, tous les autres se répartissent dans l'ouest de la France, région particulièrement humide.

Cela est en accord avec les études systématiques (4) entreprises à Lieusaint, Petit Bêle, Beaucouzé et La Malmare, qui montrent que l'indice de réaction croît fortement avec la pluviosité pour la pomme de terre, moyennement pour la luzerne et décroît légèrement pour le blé.

Seul Petit Bêle (Loire Atlantique) fait exception. Le champ avait reçu il y a quelques années un apport uniforme de fumier qui a masqué la réaction relative sur pomme de terre.

En comparant l'ordre de classement de la série des deux indices I_p et I_M on retrouve à l'examen des indices I_p l'essentiel des observations qui viennent d'être rapportées.

En résumé, I_p représente un indice de réaction *absolu* se rapportant à une seule culture, la pomme de terre, I_M est la somme d'indices partiels $\frac{\bar{i}}{\bar{i}_M}$ *relatifs*, puisqu'ils expriment respectivement la réaction par champ $\bar{i}$ rapporté à la moyenne $\bar{i}_M$ de cette réaction établie sur l'ensemble des champs de la S. C. P. A.

III. — LES DÉTERMINATIONS PHYSICO-CHIMIQUES

Elles ont porté :
— sur la solution du sol ;
— sur les éléments échangeables ;
— sur le potassium rétrogradé.

1° Concentration de la solution du sol.

Des poids constants de terre sont mis en contact avec des volumes d'eau croissants. On choisit comme rapport $\frac{\text{sol}}{\text{eau}}$: r = 3/2, 1/1, 1/2, 1/4. A l'équilibre, la suspension est filtrée, et l'on dose dans la solution le calcium et la magnésium, cations qui prédominent nettement. On obtient ainsi une courbe représentant la variation de la concentration en Ca^{++} et Mg^{++} en fonction de r ; cette courbe est extrapolée jusqu'à la valeur r = 3, correspondant à une humidité de 25 p. 100 voisine de celle d'un sol en place.

— le pH de la solution est mesuré dans les conditions habituelles (rapport sol/eau = 1/2,5).

Ce sol est alors mis en contact avec une solution renfermant les mêmes concentrations en ions Ca^{++}, Mg^{++} et H^+. A un rapport sol/eau donné (3/2), on obtient ainsi une valeur très voisine de la concentration en K de la solution du sol telle qu'elle existe dans les conditions naturelles.

2° Déterminations des éléments échangeables.

a) Les cations Ca^{++}, Mg^{++}, K^+, Na^+ sont dosés dans le filtrat issu de la percolation de 10 g de sol par 200 cc d'acétate d'ammonium neutre normal.

Sur les terres à argile illitique de Lieusaint, La Malmare, Beaucouzé, on a prolongé la percolation par la même quantité d'acétate.

b) La capacité d'échange T a été déterminée sur la terre précédemment percolée : on élimine les ions NH_4^+ non adsorbés, par lavage sur filtre avec 200 cc d'alcool éthylique, et l'on déplace les ions NH_4^+ adsorbés par lessivage à l'aide de 200 cc d'une solution à 10 p. 100 de ClNa, N/20 en ClH.

3° Étude de la désorption du potassium.

Cette étude a pour but d'examiner la variation de la concentration en K^+ de la solution du sol au cours de l'épuisement et d'évaluer l'énergie d'adsorption.

La technique (5) consiste à mettre en contact des poids de terre constants dans des volumes croissants de solution, les rapports $r = \frac{\text{sol}}{\text{solution}}$ croissant de 1/100 à 3/2. La composition cationique de la solution est celle qui a été déterminée précédemment dans la solution du sol. L'anion est apporté sous forme d'acétate et la solution est ajustée au pH de la solution du sol par addition d'acide acétique. Dans ces conditions, la désorption s'effectue à force ionique constante.

A l'équilibre, les suspensions sont filtrées et l'on dose sur les filtrats la potasse échangeable désorbée.

Soit C la concentration du potassium en solution exprimée en mg/l.

Q la quantité de potassium en solution exprimée en ppm de sol.

K le potassium échangeable total en ppm de sol.

La quantité R de potassium restant adsorbé au rapport $\frac{\text{sol}}{\text{solution}}$ considéré est :

$$R = K - Q.$$

On obtient ainsi les variations de C et de R en fonction de r.

On peut alors construire la courbe de C en fonction de R, courbe de désorption du potassium.

Dans les conditions de force ionique constante, le coefficient d'activité γ des ions K^+, reste constant.

$a_1 = C_1 \gamma$ a désignant l'activité des ions K^+

$a_2 = C_2 \gamma$ et C leur concentration.

d'où $\frac{a_1}{a_2} = \frac{C_1}{C_2}$

Le rapport des activités se confond avec celui des concentrations. Ce qui permet d'écrire :

$$\Delta\bar{G} = RT \ln \frac{C_1}{C_2} \qquad (p \text{ et } T \text{ constantes})$$

R étant la constante des gaz parfaits.

T la température absolue à laquelle on opère.

$\Delta\overline{G}$ désignant la variation de l'enthalpie libre partielle molaire du potassium dans la solution au cours de la désorption. Elle s'exprime en calorie par ion-gramme.

On peut mettre la relation sous la forme :

$$\Delta\overline{G} = \overline{G}_1 - \overline{G}_2 = RT \log \frac{C_1}{C_2}$$

$(\Delta\overline{G})$ correspond au travail nécessaire pour désorber un ion-gramme entre deux stades de la désorption entre lesquels la concentration en K^+ de la solution passe de C_1 à C_2. C'est le « travail d'extraction ».

On peut alors construire la courbe de la variation du travail d'extraction en fonction de la concentration en solution, ou mieux, de la quantité de Potassium désorbée.

Il n'est pas possible d'atteindre la valeur absolue de $\overline{G}$. On rapporte les variations de $\overline{G}$ à la valeur conventionnelle $\overline{G}_1$ du Potassium pour laquelle le rapport $\frac{\text{sol}}{\text{solution}} = 3/2$, 1er terme de la série des contacts sol-solution.

Cette convention étant appliquée à tous les échantillons, on obtient des résultats comparables puisqu'on part de conditions initiales identiques. La force ionique de la solution étant voisine de celle de la solution du sol en place, on se place dans des conditions qui se rapprochent de celles du sol en place.

A une valeur Q_i de Potassium extrait correspond une valeur $(\Delta\overline{G}_i)$ du travail d'extraction : c'est le travail nécessaire pour extraire un ion-g de potassium Q_i actuellement désorbé.

$(\Delta\overline{G}_i)$ exprime en quelque sorte l'inverse de la mobilité de la potasse Q_i à extraire. Plus Q_i est grand, plus la mobilité devient faible.

4° Établissement d'un indice de régénération.

On admet que le potassium extrait par action de l'acide nitrique relativement concentré est en rapport avec l'intensité de la régénération.

Haylock (6) a proposé une technique consistant à extraire le potassium rétrogradé par des ébullitions successives dans l'acide nitrique. Afin d'éviter l'ébullition, nous avons préféré effectuer des percolations par NO_3H 2 N. L'allure de l'extraction est sensiblement la même dans les deux cas (« Step Potassium » et « Constant rate »). Nous avons adopté comme estimation du « Step Potassium », qui serait particulièrement utile aux plantes, la quantité de K^+ extraite au cours de la percolation des 100 premiers cm^3 d'acide nitrique.

IV. — ÉTABLISSEMENT DE CORRÉLATIONS ENTRE LES TESTS ET LES RÉSULTATS CULTURAUX

1° Résultats.

On a porté dans le tableau VI les valeurs de I_p et I_M, ainsi que les principales données chimiques correspondantes.

TABLEAU VI

	I_M	I_p	K en sol. (r=3/2) mg./L.	meq/kg de sol		$100\frac{K}{S}$	$100\frac{K}{Ca}$	$\Delta\bar{G}$ 20 ppm cal/ion-g	K régénéré ppm sol
				Ca^{++} éch.	K^{+} éch,				
Levet :									
K_0	1,21	1,31	8,8	105	2,5	2,16	2,38	350	57,2
K_1		0,16							
K_2		0			4,6	4,07	4,4	80	
Toulouse :									
K_0	1,08	0,72	6,2	59,4	1,95	2,7	3,28	320	41
K_1		0,61		61,3	2,2	3	3,6	280	59
K_2		0		59,4	5,2	7,1	9,2	30	
Marambat :									
K_0	0,9		5,9	89	3,6	3,7	4,05	280	57
K_1				99	3,8	3,5	3,75	220	68,3
K_2				95	4,7	4,4	5	220	
Pompignac :									
K_0	0,82	0,31	2,81	70	1,7	2,3	2,4	300	27,5
K_1		0		57	3,1	4,85	5,42	300	39
K_2		0		63	2,6	3,75	4,6		
La Harpe :									
K_0	1,5	1,37	1,55	51	1,5	2,3	2,35	630	19,3
K_1		0		63	2,6	2,9	3,2	470	34,8
K_1		0		57	3,6	5,6	6,1	170	
Petit Bêle :									
K_0	1,35	1,04	1,34	51	0,75	1,32	1,37	850	17,5
K_1		0,15		53	1,4	2,5	2,65	650	23,5
K^2		0		49,5	1,4	3,25	2,85	350	
Beaucouzé :									
K_0	1,17	1,14	4,5	14	1,9	2,52	2,57	750	21,4
K_1		0,16							
K_2		0			5,2	6,8	7	30	
Woippy :									
K_0	0,84	0,31	7,2	53	1,9	3,42	3,58	600	44,4
K_2		0							
K_1		0			1,3	6,72	2,45	0	
Pau Saint-Léon :									
K_0	0,96	0,52	4,6	69	1,1	1,4	1,59	920	15
K_1		0,33		71,3	2,3	2,5	3,24	500	18,3
K_2		0		69,3	4	4,8	5,7	230	
St-Jean du Card. :									
K_0	1,2	1,05	4		1,2	1,7	1,79	370	14,8
K_1		0,06		70					
K_2					1,7	2,56	2,6	320	
Lieusaint :									
K_0	1,02	0,64	2,91		2,9	2,78	2,9	450	24,5
K_1		0,31			2,7	2,56	2,7	440	23,7
K_2		0		105	2,6	2,47	2,5	500	
La Malmare :									
K_0	1,27	1,64	10		1,8			500	
K_1		0,18			2,2			350	
K_2		0			2,8			80	
Ablis :									
K_0	1,19	1,25	1,6	115	2	0,4	1,73	600	30,8
K_1		0,19		128	3,1	0,70	3,05	450	51,6
K_2		0		113	4,25	0,94	4	400	

La confrontation des résultats culturaux et chimiques se révèle assez complexe par suite du grand nombre d'échantillon. Pour faire ressortir rapidement la valeur des tests éprouvés, il était bon d'établir les corrélations statistiques entre les données chimiques et culturales. Les corrélations sont portées dans le tableau VII.

TABLEAU VII

Corrélations entre la réaction aux engrais K et divers tests appliqués.

Tests	Corrélation avec la réaction				Sensibilité du test $\frac{\sigma}{\bar{x}}$	
	I_p (20 éch.)		I_M (13 éch.)			
	r	P	r	P	I_p	I_M
Concentration Sol^t du sol	— 0,02		— 0,13		0,57	0,61
$\Delta \bar{G}_{20}$ p.p.m.	+ 0,22		+ 0,29		0,37	0,43
K éch. ‰ d'argile	— 0,33	14 %	— 0,47	9 %	0,4	0,41
K éch. ‰ de sol	— 0,39	8 %	— 0,46	10 %	0,29	0,42
$\frac{\text{K éch.}}{\Delta \bar{G}_{20} \text{ p.p.m.}}$	— 0,37	10 %	— 0,46	10 %	0,55	0,71
100 K/T	— 0,44	5 %	— 0,63	2 %	0,42	0,39
100 K/S	— 0,58	1 %	— 0,58	4 %	0,37	0,33
100 K/Ca	— 0,59	1 %	— 0,6	3 %	0,39	0,35
$\frac{\text{K éch.} + \text{K régénéré}}{\text{Ca}}$	— 0,44				0,38	
$\frac{\text{K éch.}}{\text{Ca}} \times$ K régénéré	— 0,38				0,64	
$\frac{\text{K}}{\text{Ca}}$ log humus ‰ de sol	— 0,57				0,30	0,33

P = Probabilité pour que la correlation soit due au hasard.

$\frac{\sigma}{\bar{x}}$ désigne le degré de dispersion.

Degré de dispersion de I_p = 0,7. Degré de dispersion de I_M = 0,2.

Il apparaît que, seules les corrélations entre $100\frac{K}{T}$, $100\frac{K}{S}$, $100\frac{K}{Ca}$, $100\frac{K}{Ca} \times$ log humus, d'une part, et les indices culturaux I_M d'autre part sont significatives pour un seuil de probabilité inférieure à 5 p. 100. En ce qui concerne la Pomme de terre, la corrélation de $\frac{K}{Ca}$ et $\frac{K}{S}$ est significative pour un seuil inférieur à 1 p. 100. Cela s'explique si l'on sait que cette culture supporte bien les sols un peu acides. D'autre part, dans ces sols, l'intervention d'un indice de régénération diminue plutôt les corrélations dans lesquelles interviennent à la fois K et Ca échangeables.

2° Influence de la nature du complexe adsorbant sur la dynamique de l'ion K^+.

Il est intéressant d'examiner la valeur des corrélations calculées ainsi que certaines anomalies constatées pour les tests de corrélations significatives.

a) Influence de la nature de l'argile

L'examen des tableaux VI et VII montre qu'aucune relation étroite ne se dégage entre les valeurs de K en solution, K échangeable p. 1 000 de sol, K échangeable p. 1 000 d'argile, et les données culturales.

Les deux cas extrêmes se rencontrent à Levet et à Lieusaint. Donnons quelques caractéristiques comparées de ces deux sols (tableau VIII).

Tableau VIII

	Lieusaint		Levet	
	K_0	K_2	K_0	K_2
Humus " M. Chaminade" ‰	0,35		0,34	
Argile %	16		12,3	
Capacité d'échange meq/kg	108		117	
K échangeable p.p.m. sol	107	104	100	186
(K^+) en solution mg/l (r = 3/2)	2,9	2,3	8,8	23
Capacité de production	Elevée		Très movenne	
P d T $I_{p\ 0-1}$	0,64		1,31	
$I_{p\ 1-2}$	0,31		0,16	
Nature des argiles	Illite 80 %		Quartz - très forte proportion Illite, Kaolinite — moyen	

La nature illitique de l'argile de Lieusaint confère à ce sol un pouvoir fixateur considérable et un haut niveau de fertilité. L'illite en voie d'ouverture possède un effet tampon très net à l'égard des fortes fumures car le potassium, dans ces conditions, rétrograde facilement ; réciproquement, cette argile peut céder des quantités considérables de potassium lorsque le sol est soumis à un épuisement. Ce n'est pas du tout le cas de l'argile de Levet, à prédominance quartzeuse.

D'autre part, toutes choses égales par ailleurs, l'argile illitique de Lieusaint entretient une concentration de K en solution beaucoup plus faible que l'argile de Levet, et cette concentration n'augmente pas de K_0 à K_2. De plus, elle paraît faible par rapport aux concentrations minima nécessaires à une bonne absorption de K^+ en culture sur solution coulante (7). On est conduit à penser, soit que la concentration moyenne de la solution du sol en place de Lieusaint est beaucoup plus élevée que celle déterminée par la méthode employée, soit que la plante s'alimente à partir d'une autre source que la potasse de la solution du sol, et que l'absorption s'effectue d'une façon appréciable au contact des racines avec le complexe absorbant.

b) Influence de l'humus

On n'améliore pas la corrélation relative au K échangeable si on rapporte cette valeur aux taux d'argile. On doit remarquer que l'argile

n'est que l'un des constituants du complexe adsorbant et que la capacité d'échange de l'humus intervient largement dans la capacité totale.

1. — Prenons par exemple le cas de la terre de Beaucouze. La détermination de la nature de l'argile (8) montre qu'elle comporte 60 p. 100 d'illite (T $\leqslant$ 40 meq pour 100 g), une forte proportion de chlorite (T $\leqslant$ 40 meq pour 100 g) et de quartz (T faible). Les teneurs en chlorite et en quartz sont comparables. Pour 100 g de ce mélange, la capacité d'échange due uniquement à l'argile est environ

$$40 \times 0{,}6 + 30 \times 0{,}2 = 30 \text{ meq.}$$

La terre renfermant 12 p. 100 d'argile, la capacité d'échange due uniquement à l'argile est environ 36 meq/kg. Sa capacité totale est de 78 meq/kg.

La différence est attribuable à l'humus.

2. — Si l'on examine les relations entre $\frac{K}{T}$, $\frac{K}{S}$, $\frac{K}{Ca}$ d'une part et les indices culturaux d'autre part, il apparaît que les deux champs Petit-Bêle et Pau-Saint-Leon sont très aberrants, surtout en K_0. Ces deux sols ont une teneur initiale en K échangeable extrêmement faible, 30 et 44 ppm de sol. Cependant, les indices de régénération d'une part et les études sur la régénération de ces sols sur micro-cultures de ray-grass d'autre part (9) semblent montrer que la régénération sur ces sols est faible. Ces deux terres sont précisément celles qui sont les plus riches en humus (1,52 et 6,7 p. 1000). Il est très vraisemblable que l'humus joue un rôle d'agent mobilisateur particulièrement important dans ces deux sols. Toutefois, la corrélation de K/Ca n'est pas améliorée pour l'ensemble des sols si l'on fait intervenir le taux d'humus (100 K/Ca $\times$ log humus).

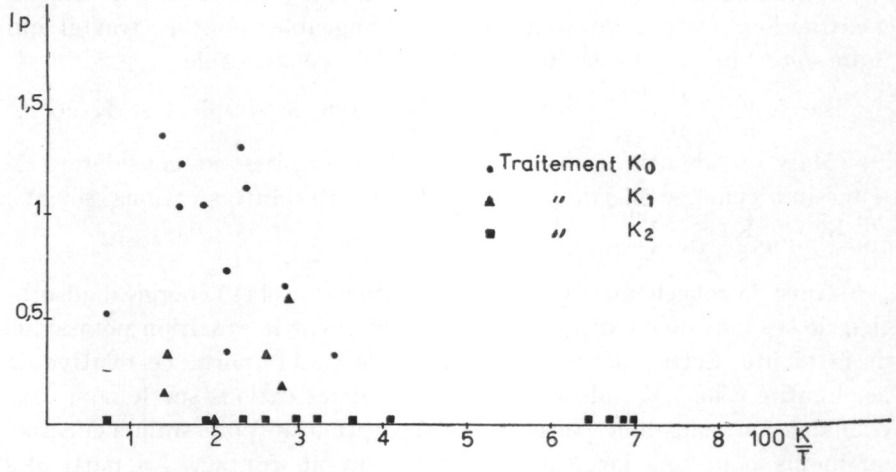
3° Représentation graphique des résultats.

Nous avons porté respectivement sur les graphiques 1 et 2, les valeurs de $100\frac{K}{T}$, $100\frac{K}{Ca}$, en fonction de l'indice I_p.

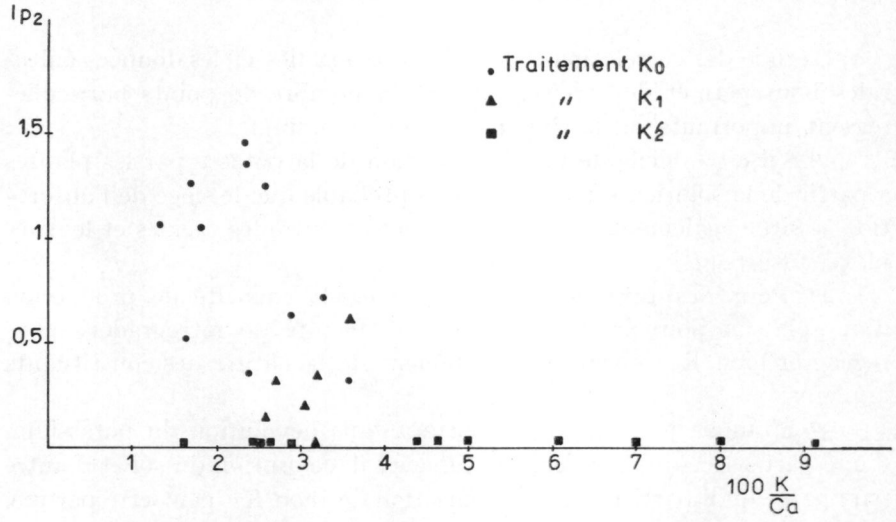
Les points représentatifs des parcelles K_2 ont été notés en admettant que celles-ci ne réagissaient pas à une fumure supplémentaire, ce qui paraît très probable. On leur a donc donné une ordonnée nulle.

Bien que les corrélations envisagées se révèlent assez significatives, la dispersion des points représentatifs est notable, ce qui ne permet pas de conclure à une très grande précision de ces tests. Cependant, on peut affirmer que les sols ayant un rapport $100\frac{K}{Ca}$ supérieur à 4 sont suffisamment pourvus en potasse. Pour des valeurs de ce rapport comprises entre 3 et 4, une fumure potassique d'entretien semble nécessaire. Pour des valeurs inférieures à 3, les besoins des cultures sont appréciables. Ces

chiffres ne prétendent pas constituer des normes immédiatement généralisables, car ils ne sont pas établis sur un nombre suffisant d'échantillons. Ils pourront être précisés ultérieurement.



Graphique 1. — Indices de réaction de la pomme de terre aux fumures potassiques en fonction du rapport $100\frac{K}{T}$.



Graphique 2. — Indices de réaction de la pomme de terre aux fumures potassiques en fonction du rapport $100\frac{K}{Ca}$.

4° Indications sur le mode de nutrition potassique des plantes.

La confrontation des tests éprouvés avec les indications culturales permet de conclure qu'il n'y a aucune corrélation entre la nutrition potassique des plantes et la concentration en K^+ de la solution du sol.

La corrélation est encore très mauvaise si on considère la potasse échangable p. 1000 de sol. Elle n'est pas améliorée avec la potasse échangeable p. 1 000 d'argile.

Aucune relation ne se dégage avec $\Delta\overline{G}_{2_{oppm}}$ c'est-à-dire le travail d'extraction relatif à 20 ppm de K^+ échangeable désorbé, travail qui représente l'inverse de la mobilité de ce K^+ échangeable.

Le test $-\frac{K^+ \text{ éch.}}{\Delta\overline{G}_{2_{oppm}}}$ n'est pas meilleur que le simple test K éch.

Mais on aboutit à des relations assez étroites en considérant le potassium échangeable rapporté à la somme des autres cations, soient : $100\frac{K}{T}$, $100\frac{K}{S}$, $100\frac{K}{Ca}$.

Ainsi, la concentration en K de la solution du sol et l'énergie d'adsorption de ces ions ne conditionnent pas étroitement la nutrition potassique de la plante. Cette nutrition dépend plutôt de l'importance relative de la quantité d'ions K^+ adsorbés parmi les autres cations sur le complexe colloïdal. On peut donc penser que l'absorption du potassium s'effectue, au moins pour une large part, directement au contact des particules adsorbantes.

CONCLUSIONS

L'étude des corrélations entre les tests étudiés et les données culturales nous permet de préciser un certain nombre de points particulièrement importants de la dynamique du potassium.

1° S'il est difficile de nier l'absorption de la potasse par les plantes à partir de la solution du sol, il est très probable que le siège de l'absorption se situe également au niveau du contact entre les racines et le complexe adsorbant.

2° Pour des taux d'argile identiques, la capacité de production d'un sol, son pouvoir fixateur lié à sa faculté de rétrograder ou de regénérer l'ion K^+ dépendent étroitement de la nature des constituants argileux.

3° L'humus joue un rôle important dans l'évolution du potassium, d'une part parce qu'il renforce la capacité d'adsorption du sol et d'autre part parce qu'il participe à la mobilisation de l'ion K^+, peut-être par une action sur l'adsorption radiculaire.

Sur un plan plus pratique, il ressort que, pour des types de sols différents, les valeurs de K^+ échangeable et surtout de K^+ en solution ne donnent que de piètres indications quant à l'intensité des besoins du sol en potasse.

Il n'en va pas de même pour les rapports $\frac{K}{S}$, $\frac{K}{T}$, $\frac{K}{Ca}$, qui constituent des tests plus précis.

La détermination de $\frac{\text{K éch.}}{\text{Ca éch.}}$ en particulier est simple et presque aussi rapide que celle de K éch. Il semble donc que ce test puisse être utilisé avantageusement, au moins dans les sols tempérés peu acides.

RÉSUMÉ

La réaction des cultures aux fumures potassiques a été comparée aux résultats de divers tests chimiques appliqués aux sols de treize champs d'essais, dans le but d'examiner la valeur de ces différents tests en tant qu'estimations du pouvoir alimentaire des sols au point de vue potassique. Les indices de réaction aux fumures ont été calculés en éliminant à la fois les variabilités annuelles (moyennes de six années), et les différences dues aux espèces végétales (ensemble de cinq cultures différentes).

Le calcul des coefficients de corrélation entre les résultats des tests chimiques et la réaction aux fumures montre que :

— les corrélations les plus élevées, très significatives, se rapportent aux tests mettant en évidence la proportion de potassium parmi les autres éléments échangeables du sol, soient les rapports $\frac{\text{K éch.}}{\text{S}}$, $\frac{\text{K éch.}}{\text{T}}$, ou, en première approximation, $\frac{\text{K éch.}}{\text{Ca éch.}}$ Les corrélations sont ainsi bien meilleures qu'en considérant seulement le taux de potassium échangeable ;

— les corrélations se rapportant à la concentration en K de la solution du sol et à l'énergie d'adsorption du potassium sont très faibles. L'introduction d'un indice de régénération du potassium rétrogradé n'améliore pas les corrélations relatives aux seuls éléments échangeables.

L'examen de la constitution du complexe adsorbant indique que, si la nature de l'argile joue un rôle important dans la dynamique du potassium, l'influence des colloïdes humiques est également très grande (capacité d'échange de cations, mobilisation du potassium).

Dans la pratique courante des analyses de sols, la détermination des rapports $\frac{\text{K}}{\text{S}}$, ou à défaut $\frac{\text{K}}{\text{Ca}}$, serait avantageusement substituée à la seule détermination des teneurs en potassium échangeable.

SUMMARY

The response of crops to potash fertilizers was compared with the results of various chemical soil tests in thirteen experimental fields, with a view to establishing the value of different tests in estimating the potassium supplying power of the soil. The values of response to fertilizers were calculated by eliminating annual variations (average of six years) and the differential behaviour of plant species (five different crops).

The coefficients of correlation between the chemical tests and crop response to fertilizing show :

1° the highest and most significant correlations were obtained with tests which showed the ratio of potassium to other exchangeable cations in the soil, such as exchangeable K/S, exchangeable K/T or, as a fair estimate, exchan-

geable K/exchangeable Ca. The correlations are much higher than in cases where only the level of exchangeable potassium is considered.

2° The correlations between the K concentration in the soil solution and the rate of K adsorption are unsatisfactory. The introduction of an index of the regeneration of reverted K does not improve correlations in respect of exchangeable cations alone.

A study of the composition of the adsorbing complex indicates that the effect of colloidal humic matter plays, in addition to the nature of the clay, an important role in the dynamics of soil potassium (cation exchange capacity, mobilization of potassium).

It would be advantageous to substitute the determination of K/S or possibly K/Ca ratios to the determination of exchangeable K alone in the current practice of soil analysis.

Динамика калия в почве и калийное питание растений.

А. СТРАСМАН, П. КИДЭ и Р. БЛЯНШЭ.
Версальская центральная агрономическая Станция.

РЕЗЮМЭ

Производилось сравнение между реакцией растений на калийные удобрения и различными данными химических анализов почв тринадцати опытных полей, с целью установить ценность этих различных анализов для определения способности почвы питать растения калием. Коэффициенты реакции на удобрения высчитывались устраняя как годичные колебания (т. к. брались средние за шесть лет), так и влияние растений (беря совокупность пяти различных культур).

Определение коэффициентов соответствия между результатами почвенных анализов и реакцией растений на удобрения показывают, что :

— Согласования наиболее высокие, очень показательные, соответствуют анализам определяющим отношение калия к другим обменным элементам почвы, то-есть отношения K обм./S, K обм./T или, как первое приближение, K обм./Ca обм. Эти согласования гораздо лучше, чем основанные просто на количестве обменного калия.

— Соответствия между концентрацией калия в почвенном растворе и между поглотительной энергией калия очень слабы. Введение коэффициента освобождения калия принявшего нерастворимую форму не улучшает соответствий основанных на одних лишь обменных элементах.

Изучение состава поглощающего комплекса показывает, что если природа глины играет важную роль в динамике калия, вляние гумусовых коллоидов также очень велико (способность катионов к обмену, мобилизация калия).

В обычной практике почвенных анализов было бы выгодно заменить простое определение содержания обменного калия определением отношений K/S или хотя бы K/Ca.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Wirkung von Kalidüngungen auf Kulturen wurde mit den Ergebnissen von verschiedenen chemischen Testversuchen die für die Böden von 13 Versuchsfelder angewendet wurden, vergliechen, und zwar um zu sehen

ob diese Testversuche das Nährpotential der Böden in Bezug auf Kali wiederspiegeln können. Die Wirkungszahlen der Düngung wurde ausgerechnet bei Ausschaltung der jährlichen Schwankungen (6 jähriger Mittelwert) und der durch die Verschiedenheit der angebauten Pflanzen verursachten Unterschiede (5 verschiedene Kulturen).

Das Ausrechnen der Korrelationskoeffizienten zswichen den Ergebnissen der chemischen Testversuche und der Feldversuche zeigen dass :

— man die höchsten sehr signifikanten Korrelationen findet, für die Teste die den Anteil des Kaliums gegenüber anderen austauschbaren Elementen zur Schau bringen wie die Verhältnisse $\frac{\text{aust. K}}{\text{S}}$, $\frac{\text{aust. K}}{\text{T}}$ oder in erster Annäherung $\frac{\text{aust. Ca}}{\text{aust. K}}$. Die Korrelationen sind weit besser als wenn man nur den Gehalt an austauschbarem Kalium betrachtet ;

— die Korrelationen zu den Konzentrationen in Prozent der Bodenlösung und zu der Adsorptionsenergie des Kaliums sehr niedrig sind. Das Einführen einer Zahl für die Wiederaustauschbarkeit des fixierten Kaliums verbessert nicht die Korrelationen für die einzigen austauschbaren Elemente.

Die Untersuchung des Sorptionskomplexes zeigt, dass, wenn der Tontyp eine wichtige Rolle in der Kaliumdynamik spielt, der Einfluss des Humuskolloïde ebenfalls sehr gross ist (Basenaustauschkapazität, Austauschbarkeit des Kaliums).

In der Praxis der läuflichen Bodenanalysen, könnte die Bestimmung des $\frac{\text{K}}{\text{S}}$ oder dann des $\frac{\text{Ca}}{\text{K}}$ Verhältnisses die alleinige Bestimmung des austauschbaren Kaliums mit Nutzen ersetzen.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) Overstreet (R.) et Babcock (K. L.). — Sur la définition de l'activité. *C. R. Congr. Int. de la Sc. du Sol*, Paris, 1956 (en cours d'impression).

(2) Schuffelen (A. C.) et Van der Marel (H. W.). — Potassium fixation in soils. *C. R. Symposium du Potassium*, Berne, p. 157-201, 1955.

(3) Chaminade (R.). — Le potassium et la matière organique. Symposium du Potassium, Berne, p. 203-214, 1955.

(4) Franc de Ferrière (P. J. J.). — Les récoltes au champ de démonstration d'engrais potassique de Lieusaint (S.-et-M.). S. C. P. A. Mulhouse, 1957.

(4) Franc de Ferrière (P. J. J.) et Quidet (P.). — Pommes de terre et blé dans trois champs de démonstration d'engrais potassiques de l'ouest de la France, S. C. P. A. Mulhouse, 1958.

(5) Blanchet (R.). — Energie d'adsorption des ions minéraux par les colloïdes du sol et nutrition minérale des plantes (à paraître, *Ann. Agro.*).

(6) Haylock (O. F.). — Méthode d'évaluation de l'assimilabilité du potassium non échangeable. *C. R. VI Congr. Intern. de la Sc. du Sol.*, Paris, vol. B., p. 403-408, 1956.

(7) Hewitt. — Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. *Commonwealth Agricultural Bureaux*, Bucks (Angleterre), p. 86-87, 1952.

(8) FRANC DE FERRIÈRE (P. J. J.), CAMEZ (T.), MILLOT (G.). — Influence des types d'argiles de sols et de la pluviosité sur la nutrition potassique de la pomme de terre. *Ann. Agro.*, 1, p. 51-70, 1958.

(9) GARAUDEAUX (J.), BARRY (L.) et QUIDET (P.). — Étude sur la dynamique de la potasse des sols par microcultures successives de ray-grass d'Italie. *C. R. VIe Congr. Int. de la Sc. du Sol*, Paris, vol. D, p. 131-138, 1956.

(10) MALICORNET (H.) et QUIDET (P.). — Méthodes de comparaison d'essais de fumure. C. *R. VIe Congr. Int. Sc. Sol*, Paris, vol. D, p. 217-221, 1956.

LES PROPRIÉTÉS HYGROSCOPIQUES DES SOLS ET LES APPORTS SECONDAIRES D'HUMIDITÉ. IMPORTANCE DU MULCH NATUREL (1) (2)

PAR

J. DAMAGNEZ

Station de Bioclimatologie agricole, Montpellier.

PLAN DU MÉMOIRE

I. — Introduction.

II. — Nature et origine des apports secondaires d'humidité.
Origine atmosphérique.
Origine interne.

III. — Les méthodes d'étude des phénomènes de condensation et de fixation de la vapeur d'eau atmosphérique sur sol nu.
Méthodes aérodynamiques.
Méthode du bilan d'énergie.
Méthodes hydrologiques.

IV. — Étude globale des phénomènes de condensation et de fixation de la vapeur d'eau atmosphérique par la méthode gravimétrique.
A. — Influence de la tension de vapeur d'eau atmosphérique.
B. — Influence de l'humidité du sol.

V. — Intensité des phénomènes de condensation et de fixation dans les différentes couches superficielles du sol. — Importance du mulch.
A. — Localisation dans le sol des apports d'humidité.
B. — Dynamique de la fixation. Importance du mulch.
Étude théorique des échanges d'eau entre l'atmosphère et le sol en régime thermique variable.
Intensité des phénomènes de fixation et amplitude thermique journalière de la surface du sol.
Intensité des phénomènes de fixation et hygroscopicité des sols.

VI. — Origine de la rosée dans les régions méditerranéennes.

VII. — Conclusions.

Résumé.

Bibliographie.

(1) Le mulch naturel est la couche superficielle de terre desséchée, en équilibre d'hygroscopicité avec l'air, qui se forme lorsque le sol est soumis à une évaporation intense.

(2) Note présentée à la 7e réunion technique de l'Union Internationale pour la Protection de la Nature, Athènes, Septembre 1958.

I. — INTRODUCTION

A Montpellier seuls deux à trois jours de pluie supérieure à 1 mm sont observés au cours des mois de juin et juillet. Déjà insuffisante, la pluviosité estivale est de plus très irrégulière. On peut cependant faire l'hypothèse qu'en dehors des apports pluviométriques, les rosées et la fixation directe par le sol de la vapeur d'eau atmosphérique peuvent contribuer de manière appréciable au bilan hydrique. De tels apports constituent des sources secondaires d'humidité pour les sols.

Dans les régions méditerranéennes proches du littoral, l'air est chargé d'une quantité de vapeur d'eau d'autant plus grande que la mer est plus proche et que la température est plus élevée ; ces apports peuvent alors prendre toute leur importance en été et selon leur origine continentale ou marine, les vents commanderont l'extension vers l'intérieur de la zone intéressée par les sources secondaires d'humidité.

Une enquête internationale de L. CHAPTAL, qui avait abordé l'étude des sources secondaires d'humidité dès 1921 (1) révèle que le plus souvent, faute d'expérimentation, on a du se contenter d'invoquer de tels phénomènes sans pouvoir en estimer exactement l'importance. Le phénomène de fixation semble avoir été peu étudié. De plus, la diversité des dispositifs de mesure utilisés en drosométrie rendent très difficiles l'interprétation des observations. Ainsi, l'absence ou la disparité des résultats nous ont incité à rechercher une méthode d'étude intrinsèque des phénomènes de fixation et de condensation de la vapeur d'eau atmosphérique et notamment à préciser l'importance de l'état physique de la surface et des *propriétés hygroscopiques des sols* sur l'intensité de ces phénomènes.

II. — NATURE ET ORIGINE DES APPORTS SECONDAIRES D'HUMIDITÉ

Par leur nature, les phénomènes de rosée et de condensation interne sont essentiellement liés au point de rosée de l'air et au minimum thermique atteint par le sol au cours de la nuit. La fixation directe de la vapeur d'eau dans le sol se produit, elle, selon un processus général d'adsorption. Pour un même sol la dynamique de ces phénomènes, essentiellement déterminée par un gradient de concentration de la vapeur d'eau favorable, en règlera la vitesse et par suite l'importance.

La vapeur d'eau mise en œuvre dans ces processus peut avoir deux origines différentes :

Une origine atmosphérique due à un transfert turbulent de haut en bas vers le sol de la vapeur d'eau dans les basses couches de l'atmosphère.

Une origine interne due à une « distillation » de bas en haut, à l'inté-

rieur même du sol, avec condensation de l'eau des couches plus profondes sur les parties supérieures refroidies au cours de la nuit sous l'action du rayonnement nocturne. Mais cette distillation avec formation d'une phase condensée transitoire (rosée) à la surface du sol et sur le feuillage n'est qu'un aspect particulier du processus général d'évaporation. Seule l'eau condensée et fixée d'origine atmosphérique intervient comme élément positif du bilan de l'eau des sols.

L'*importance relative* de chacune de ces deux origines a donné lieu à de nombreuses controverses. Pour certains auteurs étudiant le phénomène dans des régions tempérées humides, la majeure partie des dépôts de rosée est due à une distillation. En Angleterre, J. L. MONTEITH (2) a pu dans une étude récente sur la rosée en distinguer expérimentalement les deux types de formation liés aux conditions climatiques momentanées : d'abord on assiste à une distillation de la vapeur d'eau provenant du sol ce qui entraîne un dépôt de rosée sur le feuillage ; puis, beaucoup plus tard dans la nuit à un dépôt de rosée d'origine atmosphérique (dewfall). Pour d'autres auteurs travaillant principalement dans les régions méditerranéennes à été sec et chaud, l'origine atmosphérique est prépondérante,

Nous verrons que ce désaccord n'est qu'apparent. Le processus de distillation peut bien être invoqué dans les régions où les couches superficielles du sol restent suffisamment humides tout au long de l'année. Mais dans les régions méditerranéennes, le *mulch naturel*, couche superficielle de terre desséchée en équilibre d'hygroscopicité avec l'air se comporte alors comme un écran et supprime toute possibilité de transfert par distillation en provenance du sol.

III. — LES MÉTHODES D'ÉTUDE DES PHÉNOMÈNES DE CONDENSATION ET DE FIXATION DE LA VAPEUR D'EAU ATMOSPHÉRIQUE SUR SOL NU

Deux méthodes d'inspiration moderne l'une, aréodynamique et l'autre, énergétique sont susceptibles d'indiquer le bilan de l'eau dans les couches de l'atmosphère surmontant la surface du sol. Une troisième méthode, la méthode hydrologique, nous permettra au contraire, de préciser la localisation des phénomènes dans la masse du sol et d'en analyser le processus intime.

1° **Les méthodes aérodynamiques** analysent mathématiquement les processus de transfert turbulent de la vapeur d'eau dans l'air libre. C. W. THORNTHWAITE et B. HOLZMAN (3) s'inspirant des travaux des aérodynamiciens ont pu ainsi calculer le flux de vapeur d'eau dans la couche turbulente à partir de mesures de l'humidité spécifique de l'air et de la vitesse du vent effectuées à deux niveaux de référence. Ainsi à la ferme expérimentale d'ARLINGTON (Va) les apports de vapeur d'eau atmosphé-

rique au sol ont été estimés à 50 mm environ au cours de l'année 1939.

Cette méthode présente l'inconvénient de mettre en œuvre un appareillage compliqué et coûteux. Elle pourrait cependant rendre compte des phénomènes à l'échelle régionale.

2° **La méthode du bilan d'énergie** a été préconisée par H. L. PENMAN (4). Condensation et adsorption s'accompagnent en effet de phénomènes énergétiques et donnent lieu à une libération de chaleur dont la chaleur latente de condensation est la plus importante. Sachant que la condensation d'une tranche de 1 mm d'eau libère 58 cal. par cm^2 et connaissant les autres éléments du bilan d'énergie, on pourra calculer la quantité d'eau condensée au cours d'une nuit. Le drosomètre thermoélectrique de G. HOFMANN (5) est basé sur ce principe. Par exemple, pour une rosée de 0,4 mm l'apport de chaleur au sol, dû à la condensation, s'élève à environ 24 cal. par cm^2. C'est un terme important du bilan énergétique de la surface du sol puisqu'il représente 20 à 25 p. cent du rayonnement nocturne que l'on peut estimer à environ 110 cal. perdues par cm^2 de surface de sol au cours d'une nuit de 12 heures. Au cours de nuits claires et calmes, alors que la turbulence de l'air est très faible, les apports de chaleur au sol dus à la convection de l'air sont minima. Le refroidissement du sol sous l'action du rayonnement nocturne est alors intense et on conçoit que les rosées pourront être importantes. En fait, on peut penser qu'une légère turbulence serait cependant favorable à l'abondance de la rosée grâce à une diffusion plus rapide de la vapeur d'eau vers le sol.

Là aussi, malgré son élégance, cette dernière méthode ne nous donnera que le bilan des échanges au niveau de la surface. Or dans le cas des sols, les phénomènes ne se limitent pas à leur surface : on observe également une fixation dans la masse, liée à un processus général d'adsorption. Toutefois, si l'établissement d'un équilibre d'adsorption est théoriquement instantané, dans un milieu poreux tel que le sol, le phénomène est cependant conditionné par la *diffusion de la vapeur d'eau* à l'intérieur même de la masse, processus dont la vitesse est relativement lente.

Sur le plan énergétique on sait aussi combien l'*état d'humidité du sol* commande l'énergie de fixation de l'eau par ce dernier ; celle-ci augmente rapidement quand l'humidité du sol s'abaisse au-dessous du point de flétrissement. La tension de vapeur d'eau en équilibre avec le sol correspond alors à une tension de vapeur f_s caractéristique, *inférieure* à la tension saturante F (t) à la température t de la couche du sol considérée.

On conçoit alors que ces propriétés physico-chimiques, propres à chaque sol, doivent avoir une incidence sur l'intensité des phénomènes de fixation et leur localisation dans le sol.

3° **La méthode hydrologique** a donc été préférée ici pour établir directement un bilan nocturne des échanges d'eau entre l'atmosphère et le sol. C'est ainsi que nous préciserons en deux étapes successives la nature

exacte des phénomènes observés : tout d'abord, condensation ou fixation directe par une méthode gravimétrique et ensuite leur localisation dans le sol par l'étude directe des profils hydriques en fonction notamment de l'état de dessiccation plus ou moins prononcé du mulch.

IV. — ÉTUDE GLOBALE DES PHÉNOMÈNES DE CONDENSATION ET DE FIXATION DE LA VAPEUR D'EAU ATMOSPHÉRIQUE PAR LA MÉTHODE GRAVIMÉTRIQUE.

Nous avons pu dissocier en première approximation le phénomène de condensation du phénomène de fixation directe de la vapeur d'eau en enregistrant les variations de poids durant la nuit de deux échantillons de terre fine identiques mais dont la surface était placée dans des conditions de rayonnement différentes.

Dans le premier cas, la surface de la terre exposée « à découvert » rayonne librement vers l'atmosphère et la température à la surface du sol atteint la température du point de rosée de l'air pour la plupart des nuits d'observation. Dans ces conditions, l'augmentation de poids enregistrée correspond à *un double phénomène de condensation et d'adsorption.*

Dans le second cas, on cherche à éliminer le phénomène de condensation en plaçant au-dessus du dispositif expérimental un écran qui réduit d'environ 70 p. 100 le rayonnement effectif du sol vers l'atmosphère durant la phase nocturne. Pour de nombreuses nuits d'observation, la surface du sol se maintient ainsi à une température supérieure au point de rosée de l'air. Par nuit de fort rayonnement, l'écart de température entre les deux systèmes considérés varie de 3 à 4°C et peut même atteindre 5°C par temps calme où les échanges par convection sont limités.

Une *méthode de classement* des données expérimentales ainsi recueillies s'inspirant de celle utilisée en Ecologie par H. GESLIN (6) puis par M. GODARD (7) permet alors d'interpréter l'action d'un seul des facteurs physiques les autres restant sensiblement constants.

A. — Influence de la tension de vapeur d'eau atmosphérique.

C'est ainsi qu'il avait tout d'abord été possible de mettre en évidence l'action prépondérante sur les apports secondaires d'humidité de la tension de vapeur d'eau de l'atmosphère f_a mesurée sous l'abri. Nous rappellerons brièvement les résultats déjà obtenus (8) :

Dans le cas d'une couche de 5 cm d'épaisseur constituée d'un limon calcaire sensiblement maintenu à 7 p. 100 d'humidité, (en p. 100 de terre sèche), l'intensité du phénomène de fixation au cours d'une nuit est doublée passant de 64 à 132 grammes au m² si la tension de vapeur f_a passe de 9 à 13 mm de Hg.

Notons qu'il nous a été possible de montrer, ainsi que l'on devait s'y attendre, que l'intensité du phénomène de fixation diminue lentement si la température du sol s'élève. Cependant, les variations du minimum thermique de la surface du sol au cours de l'été et au début de l'automne sont suffisamment restreintes pour que l'influence de la température du sol sur le phénomène de fixation puisse être écartée, en première approximation, devant l'action prépondérante des variations de la tension de vapeur d'eau dans l'atmosphère.

Ce phénomène de fixation est très fréquent au cours de la saison chaude. A Montpellier où la tension moyenne de la vapeur d'eau dans l'atmosphère est d'environ 12 mm de Hg de juin à août, on peut compter ainsi sur un apport presque quotidien de l'ordre de 160 grammes par mètre carré en raison de l'état de dessication de la couche superficielle formant le mulch.

Pour le même échantillon de terre, la quantité d'eau incorporée au sol, provenant à la fois des phénomènes de condensation et de fixation de la vapeur d'eau atmosphérique, est beaucoup plus importante. L'eau ainsi incorporée au sol au cours d'une nuit peut atteindre 410 g/m².

B. — Influence de l'humidité du sol.

On a pu également préciser l'action propre des facteurs liés au sol et notamment son *humidité*. Le tableau I où l'humidité du sol est exprimée en p. 100 du poids de terre sèche, montre que *le phénomène global de fixation est d'autant plus intense que l'humidité du sol est plus basse.*

TABLEAU I

Influence de l'humidité du sol sur le phénomène de fixation directe de la vapeur d'eau atmosphérique (g/m²).

Humidité moyenne du sol $\overline{H_0^5}$ dans la tranche de 0 à 5 cm.		4	5	6	7	8	9	10
Tension de vapeur de l'air f_a à 2 m sous abri *mm de Hg*	$7 < f_a < 10$	107	70	47	27	17	7	
	$10 < f_a < 12$			114	90	70	53	43

Dès que le seuil de 9 à 10 p. 100 d'humidité globale est atteint, ce qui correspond pour le limon considéré sensiblement au point de flétrissement permanent, l'intensité du phénomène de fixation directe croît très rapidement. Pour une humidité du sol de 3 à 4 p. 100, correspondant à un état de mulch fréquent à Montpellier en été, ces gains augmentent fortement.

V. — INTENSITÉ DES PHÉNOMÈNES DE CONDENSATION ET DE FIXATION DANS LES DIFFÉRENTES COUCHES SUPERFICIELLES DU SOL. — IMPORTANCE DU MULCH.

Pour préciser les niveaux où se produisent les différents apports d'humidité mis ainsi en évidence et analyser le mécanisme interne de la fixation, *un bilan de répartition* a été alors établi expérimentalement en suivant l'évolution nocturne des profils hydriques dans les couches superficielles du sol entre le coucher et le lever du soleil (1).

Un lot de cylindres est rempli de terre fine amenée par réhumectation à une humidité connue aussi homogène que possible. Le lot de cylindres ainsi préparé est placé dans une parcelle de sol nu. Au coucher du soleil, un dosage d'humidité par tranche de 1 cm, sur un certain nombre de cylindres fait connaître le profil hydrique de départ. Un dosage analogue effectué le lendemain matin au lever du soleil, permet de tracer le profil d'arrivée. On a pu ainsi par la comparaison des deux profils mettre en évidence et calculer le gain ou la perte net à chaque niveau.

A. — Localisation dans le sol des apports d'humidité.

Le tableau II et les figures I et II expriment les résultats obtenus au cours de quelques nuits caractéristiques. Ils montrent qu'un gain d'humidité ne peut être mis en évidence que dans une couche tout à fait superficielle n'excédant que très rarement une épaisseur de 2 cm.

Si l'humidité moyenne des tranches superficielles du sol est *suffisamment élevée* ($H_0^5 = 5{,}7$ p. 100) et si la tension de vapeur d'eau de l'air est elle-même *faible* (f_a voisine de 10 mm de Hg), ce gain d'humidité en surface se fera presque exclusivement aux dépens de l'humidité des couches sous-jacentes. C'est ce que traduisent la figure I et le tableau II, ligne 1, Col. 5 et 6. On notera que cette accumulation nocturne dans les couches superficielles de l'humidité provenant du sol tend à accroître les pertes ultérieures par évaporation. En effet, une certaine quantité d'eau, faible certes mais non négligeable, se trouve ainsi ramenée au voisinage immédiat de la surface et sera évaporée dès que l'échauffement diurne se produira. On assiste donc à un processus d'évaporation discontinu avec une phase d'accumulation nocturne transitoire.

Au contraire, dans le cas d'un *mulch prononcé* ($\overline{H_0^5} = 4{,}4$ p. 100) et d'une tension de *vapeur plus élevée* ($f_a = 13{,}5$ mm de Hg), le gain se fera aux dépens de la vapeur d'eau atmosphérique comme le montre la

(1) Mentionnons ici *qu'un dépouillement climatique* nous avait tout d'abord montré que les possibilités de condensation dans le sol diminuent très rapidement avec la profondeur (8). Dans la couche superficielle, c'est seulement dans la tranche de 0 à 5 cm de profondeur que le point de rosée de l'air est atteint et que des condensations peuvent se produire au cours de la saison chaude sous le climat de Montpellier, pour le sol étudié.

figure II, courbe B et la ligne 5 du tableau II. Cette situation qui correspond à un gain effectif est très fréquente dans les régions méditerranéennes au cours de l'été et au début de l'automne.

TABLEAU II

Bilan de répartition de l'humidité des couches superficielles du sol au cours de la nuit.

Dates	Tension de vapeur d'eau dans l'atmosphère f_a mm Hg	Humidité moyenne de la tranche 0-5 cm $\overline{H}_0^5$	Variation de l'humidité du sol au cours de la nuit exprimée en g/m²			Gain net total d'origine atmosphérique g/m²	Référence aux figures
			Tranche 0-2 cm	Tranche 2-4 cm	Tranche 4-6 cm		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
A - Phénomène de fixation							
9-10 VII 1957	10,1	5,7	+ 210	— 146	— 26	+ 38	Fig. I
25-26 VII »	11,9	7,1	+ 300	— 157	— 92	+ 51	
24-25 IX »	13,5	6,8	+ 266	— 77		+ 189	Fig. II
» » »	13,5	5,3	+ 210			+ 210	courbe A
» » »	13,5	4,4	+ 244	+ 26		+ 270	Fig. II
26-27 VII »	14,2	8,1	+ 220	— 70		+ 150	courbe B
B - Phénomènes de fixation et de condensation							
16-17 VII 1956	10,8	6,3	+ 253			+ 253	
1-2 VIII 1957	12,5	4,9	+ 317	— 29		+ 288	
» » »	12,5	3,9	+ 331	+ 59		+ 390	

Enfin, pour la même tension de vapeur dans l'atmosphère ($f_a = 13,5$) mais pour des conditions d'humidité du sol plus élevées ($\overline{H}_0^5 = 6,8$ p. 100), l'augmentation d'humidité de la tranche de 0 à 2 cm peut se faire, à la fois aux dépens de la vapeur d'eau d'origine atmosphérique et aux dépens de l'humidité des couches sous-jacentes (fig. II, courbe A et tableau II, ligne 3). Nous avons alors pu par différence mettre en évidence le gain net d'humidité d'origine atmosphérique (tableau II, col. 7).

Dans le cas où seul le phénomène de fixation s'est produit, le gain net d'humidité d'origine atmosphérique mis ainsi en évidence par cette méthode fine (colonne 7 du tableau II) a été comparé avec les résultats globaux obtenus par la méthode gravimétrique (tableau I). Tenant compte de la différence dans le dispositif expérimental adopté, nous avons constaté une concordance satisfaisante entre les résultats obtenus par les deux méthodes.

Si le phénomène de rosée vient s'ajouter au processus de fixation, une comparaison analogue avec des résultats obtenus antérieurement (8) par la méthode gravimétrique montre que l'accord est particulièrement satisfaisant.

Il semble ainsi que l'on puisse prévoir la fréquence et l'intensité des sources secondaires d'humidité à partir de seules données physico-chimiques concernant le sol et de *facteurs climatiques directement accessibles*.

B. — Dynamique de la fixation. Importance du Mulch.

Au cours de l'été méditerranéen où le sol est soumis à une évaporation intense, le mulch naturel se forme rapidement. D'après M. HALLAIRE (9), la formation de ce mulch correspond à *un déficit en eau*, caractéristique

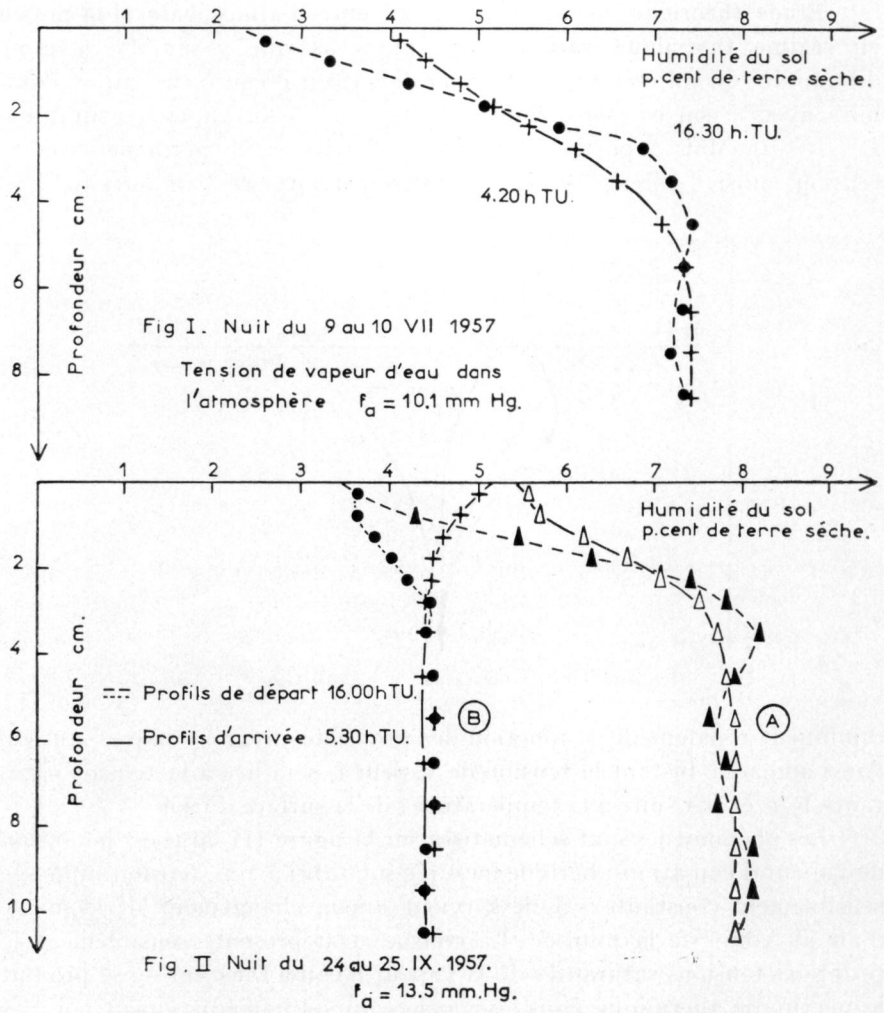


Fig. I et II. — Profils de l'humidité des couches superficielles du sol au cours de deux nuits caractéristiques.

de la nature du sol et de son degré de tassement, mais aussi du régime d'évaporation auquel il est soumis : pour un même sol, plus l'évaporation est intense et plus le déficit caractéristique est faible.

Dans cette couche desséchée les phénomènes de transfert d'eau se font alors essentiellement à l'état de vapeur et les pertes en eau par

évaporation diminuent donc très rapidement. Tel est le processus d'évaporation en régime isotherme. Mais nous allons montrer ici que dans les conditions naturelles, l'amplitude de *l'oscillation thermique journalière* affectant les couches superficielles du sol peut commander ou modifier le sens de la diffusion si le dessèchement de ces couches est suffisant.

Étude théorique des échanges d'eau entre l'atmosphère et le mulch en régime thermique variable. — Rappelons que, pour une gamme d'humidité du sol étendue, la tension de vapeur d'eau f_s de l'air en équilibre avec le sol est sensiblement la tension de la vapeur saturante : $f_s = F(t)$. Mais à partir du point de flétrissement permanent, cette tension, ainsi d'ailleurs que l'état hygrométrique de l'air en équilibre,

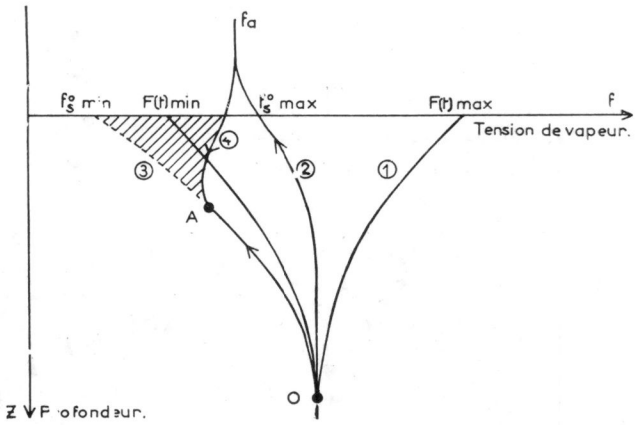


Fig. III. — Humidité du sol et fixation de la vapeur d'eau — régime variable.

diminuent rapidement en fonction des propriétés hygroscopiques du sol. Ainsi à chaque instant la tension de vapeur f_s sera liée à la tension saturante $F(t)$ et par suite à la température t de la surface du sol.

Les phénomènes sont schématisés sur la figure III où f_a est la tension de vapeur d'eau atmosphérique mesurée sous abri à 2 m, tension supposée sensiblement constante s'il ne survient aucun changement de la masse d'air au cours de la journée. La courbe (1) représente sensiblement le profil des tensions saturantes de la vapeur d'eau à l'instant où se produit le maximum thermique dans les couches du sol immédiatement voisines de la surface. En raison de l'état de dessiccation du mulch, la tension réelle de vapeur d'eau f_s en équilibre avec le sol est inférieure à la tension saturante $F(t)$. Au même moment, la courbe (2) indique cette tension f_s en équilibre avec le sol aux différents niveaux. Lorsque la tension de vapeur d'eau en équilibre avec le sol en surface f_s^o, est supérieure à la tension de vapeur d'eau dans l'atmosphère f_a, ceci entraîne évidemment un phénomène d'évaporation. Mais dès que le maximum thermique s'est

produit et que la température du sol commence à diminuer la tension de vapeur f_s^o s'abaisse avec la température puisqu'elle est liée à F (t). Elle peut très rapidement devenir inférieure à la tension de vapeur d'eau dans l'atmosphère f_a et les conditions sont alors favorables à un *processus de fixation*. On peut prévoir ainsi que le phénomène de fixation doit débuter dans le cas d'un mulch très prononcé peu après que le maximum thermique se soit produit à la surface du sol.

C'est ainsi par exemple que l'enregistrement par la méthode gravimétrique des variations de poids d'un volume de terre montre que la *prise d'humidité par le sol commence bien avant le coucher du soleil* et, toutes conditions étant égales par ailleurs, plus l'humidité du sol est faible, plus le gain d'humidité commence tôt. Pour un mulch très prononcé, le phénomène a pu débuter vers 15 h. T. U., soit 4 heures avant le coucher du soleil à Montpellier, l'humidité relative de l'air sous abri atteignait alors à peine 36 p. 100. Mentionnons que L. CHAPTAL (1) avait déjà observé un phénomène analogue mais sans qu'une interprétation satisfaisante puisse en être donnée. De son côté, L. A. RAMDAS a depuis montré l'existence de tels apports sous le climat des Indes (12).

Si la chute de température se poursuit suffisamment un nouveau phénomène est susceptible de se produire : la *rosée* apparaît dès que le point de rosée à la surface du sol est atteint, c'est-à-dire lorsque $F(t) \leqslant f_a$.

Le matin au moment du minimum thermique, on observera un profil de tension de vapeur en équilibre avec l'humidité du sol, tel que (4). Si aucun phénomène d'apport ne s'était produit, on aurait alors observé le profil (3). La zone hachurée sur le schéma correspond donc au gain d'humidité traduit ici par l'augmentation de la tension de vapeur en équilibre avec le sol.

Dans les régions méditerranéennes, le rayonnement nocturne intense détermine une grande amplitude thermique journalière dans les couches superficielles du sol et les processus décrits prennent alors toute leur importance.

Intensité des phénomènes de fixation et amplitude thermique journalière de la surface du sol. — Pour une même tension de la vapeur d'eau dans l'atmosphère, l'état hygrométrique de l'air dans les couches au voisinage immédiat de la surface variera beaucoup en fonction de la température prise par la surface du sol. Nous définirons ici l'*état hygrométrique en équilibre apparent* avec la surface du sol par l'expression suivante :

$$\text{E. H.} = \frac{f_a}{F(t)} \times 100$$

où F (t) est la tension saturante de la vapeur d'eau pour la température t de la surface du sol et f_a la tension actuelle de la vapeur d'eau dans l'air libre sous abri à 2 m.

On considère en première approximation que le gradient de tension de vapeur entre la hauteur de l'abri et le sol est suffisamment faible pour être négligé et que f_a est donc très voisin de la tension de vapeur d'eau dans les couches d'air proches du sol. La grandeur ainsi définie doit alors différer très peu de l'état hygrométrique exact de l'air dans les couches au voisinage immédiat de la surface.

L'état hygrométrique en équilibre apparent auquel correspond pour chaque sol un taux d'humidité déterminé exprimera ainsi de manière simple ses propriétés hygroscopiques (1). De sa définition, il résulte que l'état hygrométrique en équilibre apparent est d'autant plus faible que la température de la surface est plus élevée pendant la journée. Il y correspond alors une humidité de la couche superficielle qui sera très faible. Au contraire, au moment du minimum thermique se produisant à la surface du sol peu après le lever du soleil, l'état hygrométrique en équilibre apparent sera maximum et l'humidité de la tranche superficielle du sol sera elle-même maximum. Le gain d'humidité du sol résultera alors de la différence entre ces deux valeurs extrêmes de l'état hygrométrique. On peut donc conclure que, toutes choses égales, plus *l'amplitude thermique journalière* à la surface du sol sera grande plus *le gain d'humidité* dans les couches superficielles du sol sera important.

Intensité des phénomènes de fixation et hygroscopicité des sols. — Les propriétés hygroscopiques d'un sol, essentiellement liées à la teneur en colloïdes argileux, se traduisent par l'état d'humidité pris par le sol en présence d'un état hygrométrique donné. Ces propriétés sont généralement exprimées par la courbe d'hygroscopicité obtenue en laboratoire dans des conditions statiques. Toutefois, pour les besoins de l'agronomie nous avons essayé de tracer une courbe analogue reliant la teneur en eau du sol « in situ » à l'état hygrométrique en équilibre apparent, donnée climatique simple directement accessible.

Cette courbe a été tracée pour le limon calcaire riche en colloïdes argileux de la station de Bel-Air. On porte en ordonnée l'état hygrométrique en équilibre apparent avec la surface du sol et en abscisse, l'humidité de la couche superficielle correspondante (courbe A, fig. IV). Sous l'approximation mentionnée précédemment, la courbe ainsi obtenue doit s'écarter assez peu de la courbe d'hygroscopicité vraie. Elle présente l'avantage d'offrir une interprétation immédiate. En effet, l'étude de ce graphique montre que pour une amplitude journalière donnée de l'état

(1) Remarquons cependant que l'état hygrométrique en équilibre apparent tel que nous l'avons défini résulte d'un équilibre dynamique. Il doit donc légèrement différer de l'état hygrométrique en équilibre vrai tel qu'on pourrait le définir par une méthode statique (mesure de tension de vapeur...)

hygrométrique en équilibre apparent, les variations d'humidité du sol en surface sont relativement importantes.

Sur le même graphique on a également porté la courbe d'hygroscopicité statique relative à un sable léger (1) (courbe B, fig. IV).

Dans ce cas, les apports d'humidité par fixation directe pour une même variation de l'état hygrométrique en équilibre seraient faibles. Par exemple pour un état hygrométrique en équilibre apparent variant au cours d'une journée caractéristique de 36 p. 100 à 16 h T. U. le 24. IX.

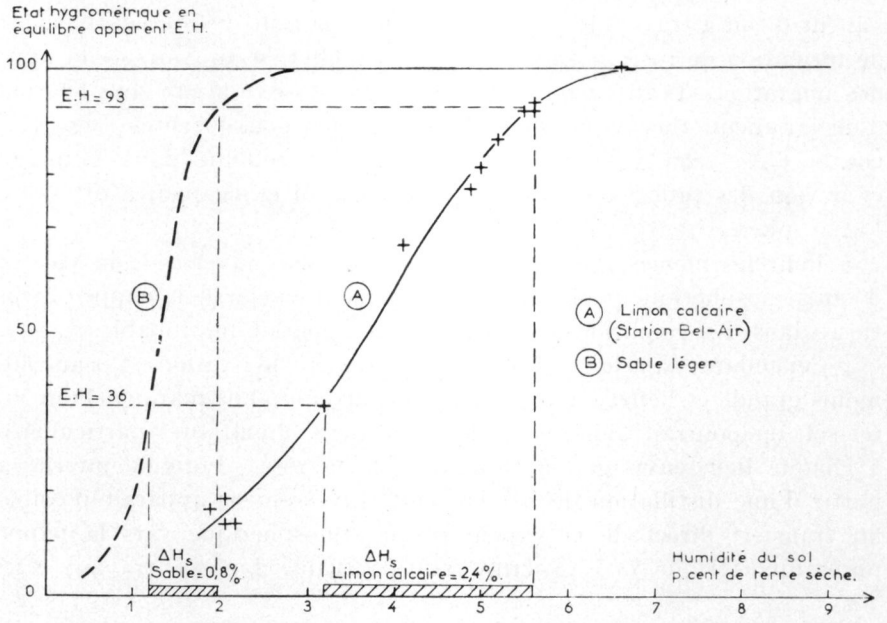


Fig. IV. — Relation entre l'humidité de la surface du sol et l'état hygrométrique en équilibre apparent.

1957 à 93 p. 100 le lendemain matin à 5 h. 20 T. U., l'augmentation d'humidité du sol en surface ΔH_s a été de 2,4 p. 100 environ dans le cas du limon calcaire étudié. Elle n'aurait été que de 0,8 p. 100 dans le cas du sable (fig. IV, courbe B).

Ainsi pour une même variation journalière de l'état hygrométrique en équilibre, les apports par fixation directe de la vapeur d'eau atmosphérique augmentent avec la proportion d'argile. De même, pour un type de sol donné, plus l'amplitude thermique journalière est grande, plus la variation d'humidité de la surface du sol ΔH_s, corrélative de la variation de l'état hygrométrique en équilibre apparent, est importante.

(1) Ces données établies au laboratoire par PURI (A. N.), CROWTHER (E. M.) et KEEN (B. A.) (10) sont relatives à un sol sableux contenant seulement environ 7 p. 100 d'argile.

VI. — ORIGINE DE LA ROSÉE DANS LES RÉGIONS MÉDITERRANÉENNES

Comme on l'a rappelé, certains auteurs ont pu donner à la formation de la rosée dans des pays tempérés humides une origine interne en invoquant un processus de distillation à l'intérieur du sol. Or dans les régions à été sec et chaud, le mulch naturel très desséché en fin d'après midi possède au cours de la nuit une grande capacité de fixation. C'est pourquoi nous n'avons pas généralement dans ces régions de transfert de vapeur d'eau à travers le mulch au cours de la nuit, ni consécutivement de formation de rosée d'origine interne. En effet, si au cours de la nuit, des migrations d'eau en phase vapeur peuvent se produire sous l'action d'un gradient thermique depuis les couches sous-jacentes (fig. III, courbe OA), cette vapeur sera énergiquement retenue dans le mulch en raison des propriétés hygroscopiques du sol et ne pourra atteindre l'atmosphère.

Pour les mêmes raisons, le transfert en sens inverse de la vapeur d'eau atmosphérique pour l'approvisionnement en eau de la nappe phréatique dans des conditions analogues nous apparaît improbable.

Cependant, dans le cas d'un sable la capacité de fixation est beaucoup moins grande et l'effet « tampon » est beaucoup moins marqué. Pour un tel sol, on pourrait alors, selon les conditions climatiques particulières à chaque lieu, envisager la formation de la rosée d'origine interne à partir d'une distillation de bas en haut. Inversement apparaît possible un transfert direct de la vapeur d'eau atmosphérique vers la nappe phréatique tel que V. E. SOCHEVANOV l'a évalué dans ses travaux (11).

VII. — CONCLUSIONS

Ces recherches ont montré qu'il est possible de prévoir la fréquence et l'intensité des sources secondaires d'humidité à partir de seules données physico-chimiques concernant le sol et de facteurs climatiques directement accessibles.

Les dispositifs expérimentaux réalisés à cet effet ont permis de mettre en évidence que, dans le cas d'une terre limoneuse, les phénomènes étudiés sont essentiellement localisés à la couche tout à fait superficielle du sol et que la quantité d'eau apportée chaque nuit au cours de la saison chaude est suffisante pour en augmenter de 2 à 3 p. 100 le taux d'humidité. Outre leur contribution au bilan hydrique on peut penser que ces apports d'humidité favorisent la vie microbienne des sols.

Par ailleurs a été précisé le rôle déterminant que joue le mulch naturel, couche de terre desséchée en équilibre d'hygroscopicité avec

l'air, dans la dessication et la réhumectation de la surface du sol : dans le cas de terres limoneuses, il constitue un « tampon » excluant ainsi toute possibilité de formation de rosée par distillation de la vapeur d'eau d'origine interne.

Ainsi est montrée l'origine essentiellement atmosphérique de la rosée et sa contribution effective au bilan hydrique des sols dans les régions méditerranéennes.

RÉSUMÉ

Dans le cadre d'une étude sur l'importance des sources secondaires d'humidité dans le bilan de l'eau des sols du Languedoc méditerranéen, l'auteur donne une définition des différentes composantes de ces apports occultes et analyse les moyens physiques d'investigation qui s'offrent actuellement dans ce domaine.

Etudiant les phénomènes sur sol nu, il met en évidence l'importance du mulch naturel, couche de terre desséchée en équilibre d'hygroscopicité avec l'air, sur les phénomènes de condensation et de fixation de la vapeur d'eau atmosphérique par les sols :

— Le gain d'humidité du sol est limité à une couche tout à fait superficielle qui n'excède que très rarement 2 cm.

— L'amplitude de l'oscillation thermique journalière affectant les couches superficielles du sol joue un rôle déterminant sur la dessication et la réhumectation de la surface du sol. Il est montré, en particulier, que le phénomène de fixation de la vapeur d'eau par le sol peut débuter bien avant le coucher du soleil

Dans le cas d'un sol ayant des propriétés hygroscopiques élevées, l'existence de cette couche desséchée constituant le mulch, exclut toute possibilité de formation de la rosée sur le feuillage par distillation de la vapeur d'eau provenant de l'intérieur du sol.

L'auteur définit alors une grandeur climatique simple, l'état hygrométrique en équilibre apparent auquel correspond pour chaque sol un état d'humidité déterminé exprimant ainsi de manière simple ses propriétés hygroscopiques. L'amplitude journalière de l'état hygrométrique en équilibre apparent commande alors les variations de l'humidité du sol en surface. Il semble donc bien que l'on puisse prévoir la fréquence et l'intensité des sources secondaires d'humidité à partir de données physico-chimiques concernant le sol et de facteurs climatiques directement accessibles.

Les phénomènes observés peuvent entraîner une variation du point d'humidité de 2 à 3 p. 100 dans la couche superficielle. On conçoit alors l'importance de ces phénomènes sur la vie microbienne et la nitrification.

SUMMARY

Hygroscopic properties of soils and secondary accretions of moisture. The importance of a natural mulch.

In association with a study of the importance of secondary sources of moisture in the water balance of soils in the Mediterranean Languedoc, the different components of these occult supplies are defined and practical means for investigations in this field are discussed.

A study of phenomena on bare soil shows the importance of a natural mulch, that is of a dry layer of soil in hygroscopic equilibrium with the atmosphere, on condensation and fixation of atmospheric vapour in soils.

The increase in soil moisture is limited to a rather superficial layer rarely exceeding 2 cm.

The amplitude of daily temperature variations affecting the surface layers of soil plays an important role in the drying and remoistening of the soil surface. Fixation of atmospheric vapour, in particular, may begin well before sunset.

In soils of high hygroscopicity, the mulching effect of a dry layer prevents the formation of dew on the leaves originating from water vapour coming from the soil.

A simple climatic value, the hygrometric state in equilibrium, corresponds with the moisture status of each given soil and expresses in a simple way the hygroscopic properties of the soil. The daily variation in the hygrometric state in equilibrium is thus associated with the variations of soil moisture in the surface layer. It appears that the frequency and intensity of secondary sources of moisture can be estimated from physico-chemical data of the soil and readily available climatic factors.

The phenomena observed may cause a 2-3 % variation in the moisture content of the surface layer, showing their importance for bacterial activity and nitrification.

ZUSAMMENFASSUNG

Hygroskopische Eigenschaften der Böden und die sekundären Feuchtigkeitszuschüsse. Bedeutung des natürlichen Mulchs.

Im Rahmen einer Studie über die Bedeutung der sekundären Feuchtigkeitsquellen in des Wasserbilanz der Böden des mediterran Languedocs, gibt der Autor eine Definition der verschiedenen und geheimen Zuschüsse und analysiert die physikalischen Hilfsmittel zu Untersuchung dieser Frage die wir heutzutage in diesem Gebiet haben.

Bei der Untersuchung dieser Prozesse bei Brache, zeigt er die Bedeutung des naturlichen Mulchs (ausgetrocknete Bodenschicht im hygroskopischen Gleichgewicht mit der Luft) auf die Kondensations-und Bindungsprozesse des Luftwasserdampfes durch die Böden :

— Der Feuchtigkeitsgewinn des Bodens ist auf eine ganz oberflächliche Schicht, die sehr selten grösser als 2 cm ist, begrenzt.

— Die Grösse der täglichen Temperaturunterschiede der oberflächlichen Bodenschicht spielt eine ausschlaggebende Rolle bei dem Austrocknen und bei der Wiederbefeuchtung der Bodenoberfläche. Im besondern, wird gezeigt, dass der Wasserdampfbindungsprozess lang vor dem Sonnenuntergang eintreten kann.

Im Falle eines Bodens mit hohen hygroskopischen Eigenschaften, kann auf keiner Weise sich Tau auf den Blättern durch Destillation des von aus dem Innern des Bodens stammendem Wasserdampfs bilden und zwar, wegen dieser ausgetrockneten Schicht die einen Mulch darstellt.

Der Autor bestimmt danach eine einfache klimatische Grösse : die in scheinbarem Gleichgewicht stehende relative Luftfeuchtigkeit, die für jeden

Boden einem bestimmten Feuchtegrad entspricht. Die Grösse der täglichen Schwankungen der in scheinbarem Gleichgewicht stehenden relativen Lutfeuchtigkeit bestimmt dann die Bodenfeuchtigkeitsschwankungen des oberflächlischen Bodens. Es scheint also, dass die Frequenz und die Grösse der sekundären Feuchtigkeitsquellen von den chemisch-physikalischen Eigenschaften des Bodens und von den direkt messbaren klimatischen Faktoren abgeleitet werden können.

Die untersuchten Prozesse können eine Schwankung von 2 bis 3 p. 100 der Bodenfeuchtigkeit in der oberflächlichen Schicht verursachen. Man versteht dann die Bedeutung dieser Prozesse auf die mikrobielle Tätigkeit und auf das Nitrifizieren.

Гигроскопические свойства почв и добавочное получение влаги. Значение естественного покрова (mulch).

ДАМАНЬЕЗ.
Сельскохозяйственная высшая школа. Монпеллье.

РЕЗЮМЭ

В рамках изучения значения и важности добавочных источников влажности в балансе воды в почвах средиземноморского Лангедока, автор дает определение различных составляющих этих незаметных внесений и делает анализ физических приемов исследования, существующих в настоящее время в этой области.

Изучая явления на голой почве, он выставляет напоказ значение натурального покрова (mulch), слоя сухой земли, находящейся в равновесии гигроскопичности с воздухом, явлений конденсации и закрепления почвой атмосферного пара воды :

— прибавление почвенной влажности происходит только в совсем поверхностном слое, который редко превышеат 2 см.

— амплитуда суточного колебания температуры верхних слоев почвы имеет решающую роль на высыхание и увлажнение поверхности почвы. В частности установлено, что явление поглощения водяного пара почвой может начинаться значительно раньше захода солнца.

В случае, когда почва имеет высокие гигроскопические свойства, наличие этого сухого слоя, представляющего mulch, совершенно исключеат возможность образования росы на листьях путем дистилляции водяного пара, происходящего из самой почвы.

Автор тогда дает определение простой климатической величины, гигроскопического состояния «в явном равновесии», которому соответствует для каждой почвы определенное состояние влажности, выражая в простой фофме ее гигроскопические свойства. Суточная амплитуда гигрометрического состояния «в явном равновесии» определяет тогда колебания почвенной влажности на поверхности. Итак, кажется, что можно предвидеть частоту и интенсивность добавочных источников влажности основы ваясь на физико-химических данных почвы и на климатических данных, определяемых непосредственно.

Изученные явления могут вызывать изменение влажности в поверхностном слое в 2-3 процента. Становится понятным, что эти явления отражаются на жизни микробов и на нитрификации.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) CHAPTAL (L.). — La rosée et les dépôts aqueux de l'atmosphère. *Ann. Agro.*, 69-77, 1930.
(2) MONTEITH (J. L.). — Dew. *Quaterly Journ. of Roy. Met. Soc.*, 83, 357, 322-341, 1957.
(3) THORNTHWAITE (C. W.) et HOLZMAN (B.). — Measurement of evaporation from Land and Water surfaces. *U. S. Depart. of Agric. Tech. Bull.*, nº 817, 1942.
(4) PENMAN (H. L.). — Natural evaporation from the water, bare soil and grass. *Proc. of the Roy. Far. Soc.*, A vol. 193, 1948.
(5) HOFMANN (G.). — Die Thermodynamik der Taubildung. *Ber. deutsch. Wetterdienstes*, nº 18, 1955.
(6) GESLIN (H.). — Etude des lois de croissance d'une plante en fonction des facteurs du climat (température et radiation scolaire). — *Thèse Faculté des Sciences. Paris*, 1944.
(7) GODARD (M.). — La transpiration végétale et le complexe chaleur-évaporation dans la France méditerranéenne. *C. R. VIII Congrès Intern. Botan Paris*, XI et XII, 256-258, 1954.
(8) DAMAGNEZ (J.). — Les sources secondaires d'humidité et l'approvisionnement en eau des sols de la France méditerranéenne. *U. G. G. I. Assoc. Int. Hydr. Sci. Ass. géné. Toronto*, T. II, 446-457, 1957, et la météo 48, 481-492, 1957.
(9) HALLAIRE (M.). — Diffusion de l'eau à l'état vapeur et liquide au voisinage de la surface d'évaporation et dessèchement superficiel du sol. *U G GI. Assoc. Intern. Hydrol. Scient. Ass. Gén. Toronto*, T. II, 446-480, 1957.
(10) PURI (A. N.), CROWTHER (E. M.) et KEEN (B. A.). — The relation between the vapor pressure and water content of soils. *Journ. Agric. Sci.*, 15, 68-88, 1926.
(11) SOCHEVANOV (V. E.). — Condensation in sands and its part in the ground water supply in draughty regions. *Assoc. Intern. Hydr. Sci. Washington*, T. II, 1939.
(12) RAMDAS (L. A.). — Desert hydrology : condensation and evaporation phenomena in the Rajasthan Desert. *Bull. nat. Inst. Sci, India*, nº 1, 1952.

ACIDITÉ ET ALUMINIUM ÉCHANGEABLE

PAR

G. GILLY

Station d'Agronomie, Dijon.

PLAN DU MÉMOIRE

Introduction.

I. — Historique.

II. — Méthodes d'étude.

III. — Applications et discussion.

Conclusion.

INTRODUCTION

Les méthodes d'étude de l'acidité du sol sont nombreuses : acidité titrée, potentielle, d'échange avec un sel neutre, hydrolytique à l'acétate de calcium.

Notre étude se limitera à l'étude des particularités présentées par l'acidité d'échange au CIK. Lors du titrage de l'extrait salin des terres acides, on observe en effet la formation d'un précipité d'alumine, indiquant la présence dans cet extrait d'une quantité importante d'ions Al^{+++}.

Nous avons poursuivi notre étude en comparant cet aluminium à l'aluminium dit « libre » selon SCHLOESING, BARBIER et CHABANNES, MORGAN.

I. — HISTORIQUE

Après que KAPPEN, KARPOV et RIASONOV (1) eurent montré que l'acidité des sols de marais était due à l'hydrogène des fonctions carboxyles non saturées, ce fut VEITCH, qui, en 1904, découvrit que certains sols « minéraux » sont capables de provoquer l'acidification des solutions de sels neutres.

KAPPEN, pour mieux comprendre la nature de l'acidité d'échange, traite une terre sans acidité d'échange, d'une part avec l'acide sulfurique, d'autre part avec l'acide formique en utilisant des concentrations croissantes de 0,01 à 0, 1 N. La terre obtenue, après traitement au SO_4H_2, présente une acidité d'échange d'autant plus faible que la concentration de l'acide utilisé est plus forte. On observe l'inverse pour les échantillons traités avec l'acide formique. KAPPEN explique ainsi les résultats observés : SO_4H_2 produit une altération du complexe qui ne se produit pas avec HCOOH ; les ions H apportés ne sont pas retenus. Le même auteur obtient une augmentation d'acidité d'échange par traitement de 100 g de sol par 4 litres d'eau saturée de CO_2.

DAIKUKARA montre que l'acidité de l'extrait salin coïncide (ou presque) avec sa teneur en sel d'Al. Il pensait à la possibilité d'une absorption moléculaire des sels d'aluminium par le sol. Mais KAPPEN précisa que, lors du contact avec Cl_3Al, seul Al était absorbé tout comme Ca, Mg, K.

D'après GUEDROITZ, la présence d'ions Al dans l'extrait salin était due à une réaction secondaire. Les ions H absorbés en présence de ClK donneraient ClH, ce dernier agissant sur Al $(OH)_3$ ou sur des composés instables d'Al.

ASKINOSA montre que moins un sol est acide et plus dans l'acidité d'échange, la proportion d'acidité H augmente par rapport à l'acidité Al.

Depuis, de nombreux travaux ont été effectués pour expliquer la labilité de l'aluminium dans le sol. Nous rappelons brièvement les hypothèses émises :

— Pour V. A. TCHERNOV (2), l'ion hydrogène absorbé sur les colloïdes minéraux est rapidement remplacé par un ion Al. La vitesse de remplacement est fonction de la température et diminue avec le temps.

— S. N. ALECHINE (3) précise la source des ions hydrogènes qui proviendraient uniquement de phénomènes biologiques. Quant au processus même de manifestation de l'acidité en milieu aqueux, cet auteur rejoint l'hypothèse de SCHOFFIELD (4) : l'hydrogène absorbé provoquerait une redistribution de la couche octaédrique superficielle afin que les charges et valences soient compensées, l'aluminium perd son hexa-coordinence et hydrolyse les molécules d'eau présentes dans le sol.

II. — MÉTHODES D'ÉTUDE

KAPPEN déterminait l'acidité d'échange que nous appellerons totale puisqu'il ne faisait pas de distinction entre acidité H et acidité Al ; sa méthode était la suivante :

— 100 g de terre fine sont agités avec 250 cc d'une solution de ClK N. On filtre et on titre sur 125 cc par NaOH 0,1 N. Mais, comme pour l'acidité hydrolytique, une seule extraction ne suffit pas à échanger toute

l'acidité de l'échantillon, et pour ce faire, on est contraint de poursuivre l'extraction jusqu'à ce que le pH du filtrat soit identique à celui de la liqueur d'extraction. Bien que chaque type de sol se comporte différemment, KAPPEN a fixé à 1,75 le coefficient de correction de la première extraction.

TCHERNOV, en 1939, signalait la possibilité de titrage potentiométrique de l'acidité restante après blocage d'Al par un fluorure ou un oxalate. La méthode de l'Institut Dokoutchaev de Moscou (5) est basée sur ce principe.

— 50 g à 100 g de terre sont agités pendant une heure avec 250-500 cc de ClK N. On laisse en contact pendant 24 heures et on filtre.

On divise le filtrat en deux parts égales :

— Sur l'une, on titre par KOH N/100 en présence de phénolphtaléine la somme H + Al.

— Sur l'autre, on ajoute 3 cc de F Na à 3,5 p. 100 ; on fait bouillir une minute et l'on titre par KOH N/100 l'acidité H. Par différence, on a l'Aluminium. Les résultats sont exprimés en milliéquivalents pour 100 grammes de terre fine.

Dans notre étude, nous avons opéré par percolation de 20 g de terre fine par 5 fois 20 cc de ClK N, les résultats étant identiques pour nos échantillons à ceux de l'agitation-contact. Le titrage a été effectué avec KOH N/50 par potentiométrie en s'arrêtant à pH 8,2.

Avant d'aborder le dosage sur l'extrait salin des échantillons de sols, nous avons voulu étudier le comportement de solutions ClK environ N renfermant des quantités connues d'ions H^+ et Al^{+++}. Cette étude a été faite en présence et en l'absence de F Na.

Cinq solutions de 50 cc ont été préparées à une concentration totale équivalente à celle obtenue par traitement d'un sol ayant une acidité d'échange de 5 m. e. pour 100 g dans les conditions que nous venons de préciser.

Ces solutions renferment les quantités d'ions H^+ et Al^{+++} suivantes (en m. e.).

H	Al	H/Al
0,500	0	
0,375	0,125	3
0,250	0,250	1
0,125	0,375	1/3
0,0	0,500	

Dosage potentiométrique.

Les courbes de titration sont représentées sur le graphique I.

1° **En absence de F Na**, le pH de départ se situe entre 2,1 et 2,5. Tant qu'il existe des ions H dans la solution, on a un palier qui, en absence

d'aluminium, se poursuit jusqu'à la neutralisation. En présence d'Al, on obtient une inflexion et un second palier entre 4,5 - 4,8 qui est le pH de précipitation d'Al $(OH)_3$ à la concentration présente. Le flou des deux inflexions avant et après le palier d'Al est dû au fait que le pH dépend de la formation du précipité d'Al $(OH)_3$. En l'absence d'ions H, le pH de départ est de 4.

2° **En présence de F Na**, il est indispensable de porter à ébullition pour avoir une formation de fluoaluminate quantitative. En absence d'Al, la courbe présente un palier continu mais sur le pH 4. Dès que la quantité d'ions H présente a été neutralisée, on atteint pH 8. C'est une courbe à un seul palier, en présence d'ions H, et sans palier en absence d'ions H. Dans ce dernier cas, le pH de départ est de 5,6. La présence des deux paliers nous a suggéré, en absence de F Na, d'arrêter le dosage volumétrique au virage du bleu de bromophénol (pH 3-4,6).

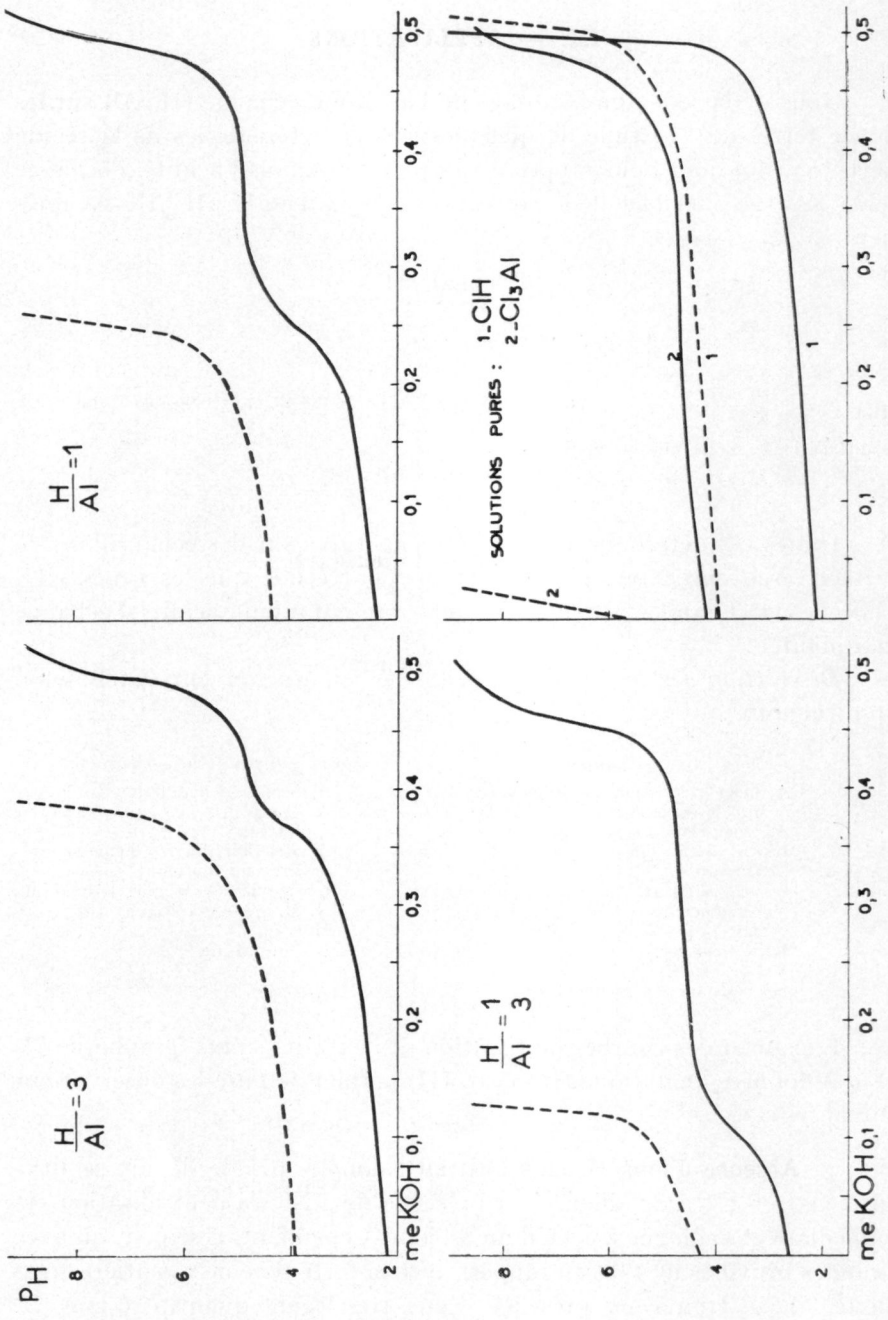
Dosage avec indicateurs.

Les mêmes solutions ont été dosées volumétriquement sans F Na en présence de phénolphtaléine et de bleu de bromophénol et avec F Na en présence de phénolphtaléine. Les résultats obtenus sont indiqués ci-dessous (en m. e. dans 50 cc de solution).

TABLEAU I

		H seul	$\frac{H}{Al} = 3$	$\frac{H}{Al} = 1$	$\frac{H}{Al} = \frac{1}{3}$	Al seul
Sans F Na						
Phénolphtaléine	théorique	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
H + Al	dosé	0,498	0,496	0,495	0,492	0,503
H	théorique	0,500	0,375	0,250	0,125	0,000
Bleu de Bromophénol	dosé	0,498	0,376	0,256	0,128	0,000
Avec F Na						
H	théorique	0,500	0,375	0,250	0,125	0,000
Phénolphtaléine	dosé	0,496	0,374	0,252	0,123	0,000

Sur ces mêmes solutions, nous avons opéré en présence de Ca. Les courbes potentiométriques se superposent. Au dosage avec indicateurs, en présence de F Na, l'opalescence produite par le précipité de F_2Ca gêne considérablement la visibilité du virage. Aussi, pour nos déterminations de H et Al échangeables du chapitre « Applications », nous avons opéré par titrage potentiométrique. Mais, il ressort des résultats ci-dessus que l'Al échangeable peut être également obtenu par titrages combinés avec la phénolphtaléine et le bleu de bromophénol.



Graphique 1. — Courbes de titrations H — Al dans les rapports variables
——— titration directe
------- titration après complexage par FNa.

III. — APPLICATIONS

Nous avons effectué le dosage de l'acidité d'échange (H^+ Al) sur les douze terres de « l'Étude de quelques sols caractéristiques de la région de Dijon » (6) dont nous rappelons les pH et donnons l'acidité d'échange selon KAPPEN (coefficient de correction 1,75) quand le pH ClK est inférieur à 7.

TABLEAU II

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
pH 1/1 Eau	7,7	8,0	7,8	5,8	5,3	4,8	8,1	7,8	6,6	6,6	6,6	7,5
pH 1/1 ClK N	7	—	7,2	5	4	3,5	—	7,4	6,4	5,8	5,8	6,9
Acidité d'échange totale (m.e. pour 100 g de terre)	—	—	—	0,20	1,70	5,60	—	—	0,12	0,12	0,10	—

Toutes ces déterminations ont été effectuées sur des échantillons de surface (0-20 cm). Nous n'avons retenu pour étude que les types « La Chocelle » et « Grandes Bruyères » n° 5 et 6, présentant une acidité d'échange marquante.

Description des profils de ces deux sols (signes conventionnels selon DUCHAUFOUR).

La Chocelle (chêne-charme)

0..... A_1 beige-gris, limoneux pelliculaire, Mull forestier
8..... A_2 beige clair, limoneux pelliculaire
25..... B ocre jaune, limono-argileux sans structure
40..... C ocre argileux, nombreux amas ferrugineux, traînées gleysifiées plan d'eau au mois de Mars
60..... R. M. pliocène
Val de Saône
Sol podzolique à pseudogley

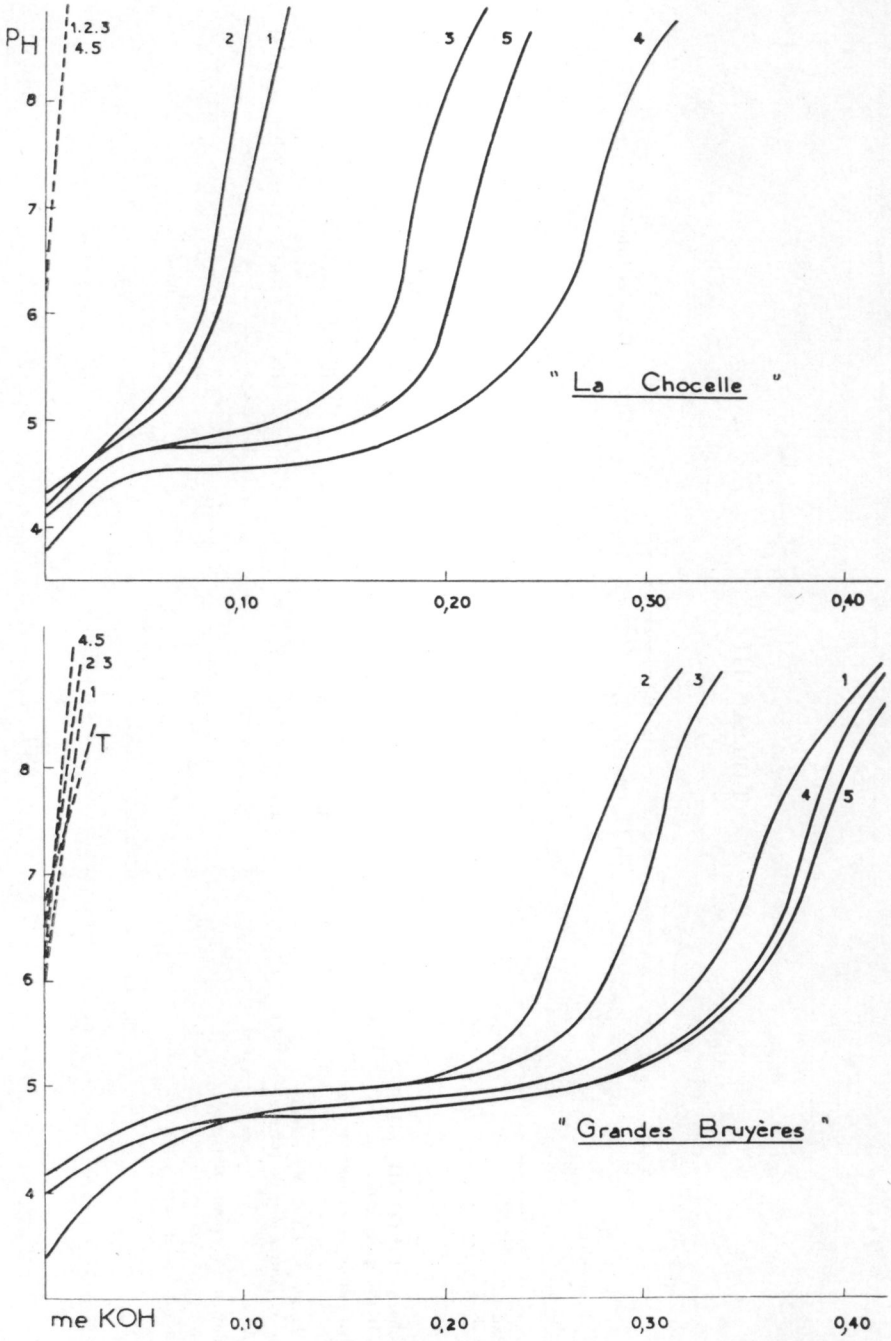
Grandes Bruyères (chêne-charme)

0..... A_0 brun-noir humifère
5..... A_1 beige-gris gravelo-sableux motteux
25..... A_2 ocre clair, gravelo-limoneux grossièrement motteux
50..... C beige clair (à sec) gravelo-limoneux
70..... R. M. arène granitique
Morvan
Sol brun acide

L'examen des courbes de titration des extraits salins (graphique II) et des données analytiques (tableau III) permet de faire les observations suivantes :

— **Absence d'ions H dans l'extrait salin.** Le pH de départ se situe entre 3,9 et 4,3. Par ailleurs, en présence de FNa, la neutralisation est immédiate et analogue à celle d'un à-blanc. Cependant, il se peut qu'avec Grandes bruyères n° 1, et en rapport avec la forte teneur en matière organique, on se trouve en présence d'une très légère quantité d'ions H.

— **Différence de comportement des extraits ClK N et acétate d'NH_4.** Bien que ces deux réactifs soient à pH 7, la différence entre la capacité d'échange à l'acétate NH4 et la somme Ca + Mg échangeable (en négli-



Graphique II. — Courbes de titration de l'extrait CIK des échantillons des profils « La Chocelle » et « Grandes Bruyères »

——— titration directe
-------- titration après complexage par FNa.

TABLEAU III

Profondeur	La Chocelle					Grandes Bruyères				
	1 2 — 8	2 15 — 25	3 25 — 35	4 50 — 60	5 100 — 110	1 2 — 5	2 5 — 25	3 25 — 40	4 40 — 50	5 50 — 65
pH (1/1) { eau	5,2	5,6	5,0	5,1	5,0	4,2	4,8	4,8	4,8	5,0
pH (1/1) { ClK N	4,0	4,5	4,2	3,8	3,6	3,3	3,7	3,8	3,7	3,4
C ‰	22	13	4	5	3	59	23	12	5	4
Argile %	9	9	15	31	34	20	19	16	16	19
Capacité d'échange $CH_3CO_2NH_4$ pH 7 m. e. pour 100 g de terre	8,5	7,5	8,0	16,1	19,8	19,5	13,2	10,4	9,5	9,5
Ca + Mg échangeable m. e. pour 100 g de terre	4,4	4,5	3,4	9,8	13	4,5	1,5	1	0,8	1
Capacité d'échange — Ca + Mg échangeable m. e. pour 100 g de terre	4,1	3	4,6	6,2	6	15	11,5	9	8,6	8,5
µe. q. Al/g Argile	120	100	130	100	70	190	150	200	240	210
Al échangeable m. e. pour 100 g de terre	1,1	0,9	2,0	2,9	2,3	3,8	2,9	3,1	3,9	4,0
H échangeable	néant					néant				

geant Na et K), c'est-à-dire H échangeable, est bien supérieure à Al échangeable au ClK N.

— **Variation du taux d'Al avec la profondeur** : Pour les deux types de sol présentés, l'horizon de surface contient plus d'Al que l'horizon immédiatement inférieur et ceci en relation avec le taux élevé de matière organique. Puis le taux d'Al va en augmentant avec la profondeur sauf pour La Chocelle nº 4, exception qui peut être en rapport avec la présence de la nappe perchée. La richesse en matière organique et l'excès d'humidité peuvent modifier les propriétés de l'argile.

— **Relation entre Al échangé, le taux et la nature d'argile** : La quantité d'Al échangeable par gramme d'argile est plus élevée pour les échantillons provenant du profil de La Bruyère que pour ceux du profil « La Chocelle ». On relève des variations de même sens mais d'amplitude beaucoup plus faible dans la valeur de la capacité d'échange.

Remarquons que les valeurs obtenues sont dans l'ordre de grandeur de celles calculées et données par Mlle GASTUCHE (7) pour deux kaolinites de 42,2 et 15,5 m^2/g (254 et 93 μeq. Al/g argile).

Extractions successives.

Compte tenu des observations de KAPPEN, nous avons soumis Grandes Bruyères nº 2 à une percolation continue en recueillant les fractions successives de 100 cc.

TABLEAU IV

Fractions	1er	2e	3e	4e	5e	6e	Total
pH de l'extrait.....	4,1	4,3	4,6	4,7	4,8	5	
Al échangeable m. e. pour 100 g.....	2,95	0,7	0,37	0,3	0,3	0,22	4,8 m. e. % Al

A la sixième extraction, le pH est encore de 5 et le total d'Al extrait est de 4,8 m. e. p. 100 alors que la différence Capacité d'échange — Somme Ca × Mg est de 11,5.

Aluminium libre.

Étant en présence d'une quantité d'aluminium échangeable, nous avons voulu comparer celle-ci à l'aluminium dit « libre », selon SCHLOESING (8), BARBIER et CHABANNES (9), ou MORGAN (10).

Les dosages ont été effectués sur Grandes Bruyères 12 et un échantillon sans acidité d'échange marquante, La Noue (nº 10).

SCHLOESING utilise pour extraction, la soude environ 0,1 N à ébullition, le dosage d'Al se fait par gravimétrie.

BARBIER et CHABANNES utilisent une solution de tartrate et oxalate d'ammonium à pH 6,9 ; colorimétrie d'Al à l'oxyquinoléine.

MORGAN met deux gouttes de l'extrait acéto-acétique en présence d'une goutte d'une solution alcoolique d'hématéine : s'il se développe une coloration violette, le test est positif.

TABLEAU V

	Al échangeable m. e. %	Schloesing m. e. %	Barbier et Chabannes m. e. %	Morgan
Grandes Bruyères 12.	2,9	87	18	+
La Noue.....	0,12	69	12	—

Par aucun des trois premiers réactifs, on n'introduit d'ions H^+. La différence entre les deux échantillons ressort beaucoup plus l'extrait au ClK et au MORGAN qu'aux deux autres, et les quantités d'Al extraites vont en croissant du ClK au tartrate-oxalate à la soude.

DISCUSSION

Libération de l'aluminium.

C'est par analogie avec la terminologie employée pour les éléments K et Ca que nous avons employé le terme d'aluminium échangeable pour désigner l'aluminium extrait pour les solutions ClK (N). En fait, il y a d'ailleurs lieu de penser qu'effectivement l'aluminium extrait au ClK provient de la couche la plus externe des cristaux de silico-aluminates du sol.

Lorsque l'on fait appel à d'autres réactifs d'extraction (réactif de BARBIER-CHABANNES, réaction de SCHLOESING), il est probable que l'aluminium des couches les plus profondes entre en jeu, ce qui explique la disparité des résultats obtenus.

Quant à la dynamique de l'aluminium dans le sol, on peut penser que le départ éventuel des ions Al échangeables est compensé par une « autolyse « des cristaux argileux, réalisée au cours des alternatives de dessiccation et d'humidification. Mlle GASTUCHE (7) a montré, in vitro, la manifestation de ce phénomène. Dans les conditions naturelles, les modifications dans la nature des ions absorbés peuvent également être le point de départ de ces transformations.

Et son rapport avec le pH.

Pour nos échantillons, plus le sol est acide, plus la quantité d'Al échangé est grande, mais pour un même pH, on peut avoir des quantités différentes d'Al.

Les différences de valeurs obtenues dans les mesures du pH à l'eau et au ClK N s'expliqueraient, non par la présence d'une plus grande quantité d'ions H libres dans l'extrait salin, mais par la dissociation des molécules Cl_3Al.

Existe-t-il une relation entre le pH eau et le pH ClK N? Nous constatons que ce sont les échantillons de la Chocelle et Grandes Bruyères qui possèdent la plus grande différence pH eau-pH ClK N.

Dans l'étude de N. I. GOBOURNOV (11), « Les minéraux argileux des principaux types de sols de l'U. R. S. S. », nous voyons que la différence entre le pH eau et le pH ClK N peut varier de 0,1 à 1,8. Le chiffre du pH eau ne peut être interprété par lui-même puisque l'on peut avoir pH eau 7,8 avec une différence de 1,6, et, pH eau 4,1 avec une différence de 0,1. Sans entrer plus avant dans cette étude sur la nature des argiles, il semble qu'il y ait un rapport entre la différence des deux pH et le degré et le mode d'évolution du sol.

CONCLUSION

L'aluminium extrait par un sel neutre indiquerait un état particulier du complexe colloïdal. Le fait que l'on ne trouve pas d'ions H dans le filtrat n'implique pas que dans le sol ceux-ci n'existent pas.

Mais, la plus ou moins grande quantité d'Al échangé par le ClK N à pH 7 peut être d'un grand intérêt pour l'étude de l'évolution dans le sol des éléments apportés par les engrais ou les amendements. En effet, au point d'impact engrais-sol, la phase aqueuse se comporte comme une solution saline. Si le complexe colloïdal est dans un état d'altération, de division ou de nature tel que les ions Al viennent occuper des positions de surface, le devenir des éléments apportés et leur disponibilité pour la plante peuvent en être profondément modifiés.

RÉSUMÉ

Par complexage au FNa de l'aluminium, on peut déterminer dans l'acidité d'échange au ClK l'acidité propre aux ions Al. Pour les échantillons étudiés, l'acidité d'échange est due uniquement aux ions Al. La teneur en Al échangé est sans relation avec la teneur en argile, mais avec la nature et peut-être la surface développée de l'argile. A une différence de pH eau-pH ClK N plus grand que 1 correspond une teneur élevée en Al échangeable indiquant un degré d'altération et une instabilité du complexe colloïdal.

SUMMARY

Acidity and exchangeable aluminium.

The exchange acidity in KCl due to Al ions can be determined by complexing the aluminium with NaF. The exchange acidity of the samples studied was entirely due to Al ions. The concentration of exchangeable Al was

related to the nature and possibly to the surface of clay, but not to the actual level of clay present. A difference greater than one between the pH in H_2O and the pH in KCl was associated with a high concentration of exchangeable Al, indicating some alteration and an instability in the colloidal complex.

ZUSAMMENFASSUNG

Bodensäure und austauschbares Aluminium.

Durch Komplexieren des Aluminiums durch FNa, kann man die durch Al-Ionen verursachte Säure in der austauschbaren Säure mit KCl bestimmen. Bei den untersuchten Proben war die austauschbare Säüre nur durch Al-Ionen verursacht. Der Gehalt an austauschbarem Al steht in keiner Beziehung zum Tongehalt hängt aber von der Natur und vielleicht von der Oberfläche des Tonminerals ab. Ein Unterschied von mehr als eine pH-Einheit zwischen pH_{Wasser} und $pH_{KCl N}$ entspricht einem hohen Gehalt an austauschbarem Al, was darauf hinweist, dass der kolloidale Komplex beschädigt und unbeständig ist.

Кислотность и обменный алюминий.

Ж. ЖИЛЛИ.
Агрономическая Станция Дижон.

РЕЗЮМЭ

Комбинируя алюминий с FNa, с которым он образует комплекс, можно определить в обменной кислотности полученной при ClK кислотность принадлежащую ионам Al. Для изученных образцов, обменная кислотность зависит исключительно от ионов Al. Количество обмененного алюминия не зависит от количества глины, но зависит от природы глины и возможно, от занятой ею поверхности. Если разность между pH определенным в воде и pH определенным в нормальном растворе ClK более велика чем 1, то содержание обменного алюминия значительно, что указывает степень изменения и непрочность коллоидального комплекса.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) *in* PRIANISCHNIKOV (D. N.). — « Agrochimie », Moscou, 1940.
(2) TCHERNOV (V. A.). — « De la nature de l'acidité du sol ». (Vol. B, p. 547, du 6e C. I. S. S., Paris, 1956).
(3) ALECHINE (S. N.). — « L'état de sorption des ions d'hydrogène et d'aluminium dans le sol ». (Commission II., 6e C. I. S. S., Paris, 1956. — Édition Moscou 1956).
(4) *in* RUSSEL (E. J.). — « Soil conditions and plant growth ». London, 1950.
(5) GORBOUNOV (N. I.). — Communication personnelle.
(6) BEL (B.), MATHIEU (G.) et DENIZOT (H.). — « Étude de quelques sols caractéristiques de la région de Dijon. *Ann., Agron.* p. 191 à 206, 1952, p. 669 à 685, 1953.
(7) Mlle GASTUCHE (C.). — « L'aluminium libre en surface de la kaolinite ». *Bull. du Groupe Français des Argiles*, t. IX, p. 49, 1957.

(8) *in* DEMOLON-LEROUX. — « Guide pour l'étude expérimentale du sol ». Dunod, Paris, 1952.
(9) BARBIER (G.) et CHABANNES (J.). — « Observations sur le microdosage de l'aluminium. — Application à l'étude de l'alumine dite libre des sols ». — *Ann. Agron.*, p. 1 à 9, 1950.
(10) *in* MORGAN (M. F.). — « Méthode des tests de MORGAN pour l'analyse du sol ». *Agron. tropicale*, nº 11, 12, p. 9, 1951.
(11) GORBOUNOV (N. I.). — « Les minéraux argileux des principaux types de sols de l'U. R. S. S. » vol. B, p. 149, 6e C. I. S. S., Paris, 1956.

Le Directeur-Gérant : B. LACLAVIÈRE.

Imprimerie Bussière à Saint-Amand (Cher), France. — 12-3-1959.

Dépôt légal : 1e trimestre 1959 *N° d'impression : 313*

631. 414. 3 : 631. 416. 836 + 631. 416. 842 : 539. 16.

SUR L'ÉCHANGE DES CATIONS PRÉSENTS EN MINIME PROPORTION APPLICATION A LA RÉTENTION DU STRONTIUM ET DU CESIUM RADIOACTIFS DANS LE SOL

PAR

G. BARBIER et L. DUVAL

Station centrale d'Agronomie, Versailles.

PLAN DU MÉMOIRE

Introduction.

Aperçu bibliographique sur les formules quantitatives des échanges d'ions.

But du travail.

Technique.

Résultats expérimentaux.

a) Distribution des éléments radioactifs ajoutés à doses variables sans entraîneur.

b) Échange strontium-Calcium.
1° Sur terre de limon calcique.
2° Sur kaolinite calcique.

c) Échange Césium-Calcium.
1° Sur terre de limon calcique.
2° Sur kaolinite calcique.

d) Échange Césium-Potassium.

e) Échange Strontium-Césium.

f) Influence des alternances de dessiccation et d'humectation sur la rétention du césium et du strontium radioactifs.

g) Cinétique de l'échange Césium-Calcium.

Conclusions.

INTRODUCTION

L'étude des échanges d'ions peut être ramenée à celle de la sélectivité des échangeurs pour divers ions, et des variations de cette sélectivité selon les concentrations et les proportions des ions à échanger.

Par sélectivité, on entend une rétention préférentielle d'un ion par rapport à un autre ion de même signe. Un échangeur de cations, par exemple, est dit retenir sélectivement un cation A par rapport à un cation B, lorsque le rapport de A à B dans la phase solide est supérieur au même rapport dans la solution.

Une première possibilité est que de deux cations, ce soit toujours le même qui soit retenu sélectivement par un échangeur donné quel que soit le rapport des quantités de l'un et de l'autre. C'est ce qu'exprime la formule suivante (utilisable en principe pour des cations de même valence) :

$$\begin{matrix}\text{cation n}^{\text{o}}\ 1 \\ \text{cation n}^{\text{o}}\ 2\end{matrix} \quad \frac{\overset{\text{Solide}}{s}}{1-s} = k\,\frac{\overset{\text{Liquide}}{l}}{1-l} \qquad (1)$$

s : proportion du cation n° 1 dans le solide, par rapport à la somme des deux cations — exprimés en équivalents — dans le solide.

$1-s$: proportion du cation n° 2 dans le solide.

l : proportion du cation n° 1 dans le liquide.

$1-l$: proportion du cation n° 2 dans le liquide.

k : peut être désigné comme le coefficient de sélectivité de l'échangeur pour le cation en numérateur par rapport au cation en dénominateur.

Ce mode de notation, l'indication des proportions au lieu des concentrations, utilisé par K. HUTSCHNECKER (1), est souvent commode.

La somme des quantités des deux cations retenues par l'unité de poids de l'échangeur est supposée constante ; si, par ailleurs, la somme des concentrations des deux cations dans la solution est maintenue constante, la connaissance de la proportion de l'un des cations dans chaque phase suffit pour définir l'état du système.

La formule précédente est représentée par le graphique n° 1.

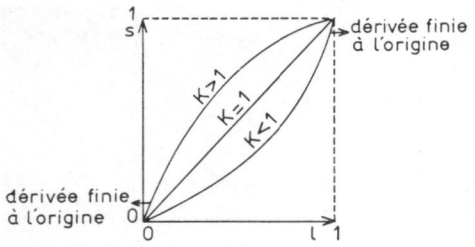
Si k est supérieur à l'unité, s est plus grand que l, c'est-à-dire que la proportion dans le solide du cation figurant en numérateur est toujours supérieure à sa proportion dans le liquide.

A noter que d'après cette formule, le rapport s/l, qui caractérise le partage du cation en numérateur entre solide et liquide, tend vers k quand la proportion de ce cation tend vers 0, c'est-à-dire quand s et l tendent vers 0 (1-s et 1-l tendant vers 1). Ainsi, le coefficient de partage de l'un ou l'autre cation entre solide et liquide deviendrait pratiquement

constant lorsque sa proportion s'abaisse en dessous d'une certaine valeur, environ 10 p. 100 de la somme des cations dans l'ensemble du système quelle que soit la valeur de k d'après le calcul de la formule.

C'est à cette formule que conduisent différentes théories physiques — avec l'aide d'hypothèses simplificatrices — dans le cas de deux cations de même valence, à condition de remplacer les concentrations des cations en solution par leurs activités (2), ce qui est d'importance secondaire en l'espèce, le rapport des activités étant pratiquement égal au rapport des concentrations molaires lorsque la somme des cations — de même valence — et la composition anionique de la solution sont maintenues constantes (dans le cas d'électrolytes forts en solution).

Et cependant, cette formule est en désaccord avec de multiples expériences publiées au cours du dernier quart de siècle ou demi-siècle,



GRAPHIQUE 1

d'après lesquelles la fraction d'un cation retenue par des argiles ou des sols augmente au fur et à mesure que sa quantité diminue, aussi bas que la sensibilité des procédés analytiques ait permis d'abaisser cette quantité. Les courbes représentant la quantité retenue en fonction de la quantité restant en solution apparaissent, pour une grande variété de cations, comme tangentes à l'axe des ordonnées, conformément à la loi d'une adsorption, d'après la formule de FREUNDLICH. C'est ce que cherchait à traduire l'ancienne formule empirique de ROTHMUND-KORNFELD (3), qui affecte d'un exposant inférieur à l'unité le rapport des concentrations en solution,

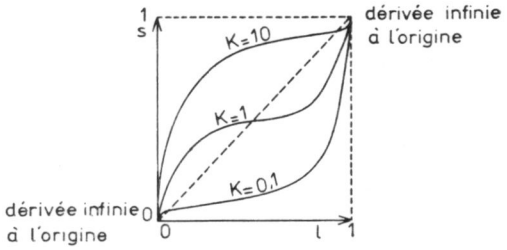
$$\frac{s}{1-s} = k\left(\frac{l}{1-l}\right)^{1/p} \quad p > 1. \qquad (2)$$

Cette formule est représentée par le graphique n° 2, où l'on a supposé $1/p = 0{,}5$.

Si k est largement supérieur à l'unité, la sélectivité pour le cation figurant en dénominateur ne se manifeste que si sa proportion est très petite (extrémité droite du graphique) ; il en est de même pour le cation figurant en numérateur si k est largement inférieur à l'unité. Mais quelle que soit la valeur de k, la courbe s en fonction de l présente une pente infinie aux deux extrémités du graphique, c'est-à-dire que le rapport s/l

augmente indéfiniment quand s et l tendent vers 0, ainsi que le rapport $(1-s)/(1-l)$ quand s et l tendent vers 1. D'après cette formule, la rétention de l'un quelconque des deux cations par le solide tend à devenir totale quand sa proportion tend vers 0, ce qui implique une inversion de la sélectivité lorsque le rapport des deux cations passe par une certaine valeur.

Sans doute, cette formule est-elle souvent en défaut, comme probablement toutes les formules proposées pour l'échange de cations. Et cependant, le fait qu'elle cherche à traduire — la forte adsorption relative d'un cation quelconque présent en minime proportion — s'observe couramment dans les laboratoires utilisant les éléments radioactifs. Divers ions radioactifs, lorsqu'on les utilise sans entraîneur (sans isotope inactif), et par conséquent en quantité infime, sont fortement adsorbés par le verre des flacons et des pipettes, même en présence d'une quantité incompara-



GRAPHIQUE 2

blement plus grande d'un ion de même signe d'une autre espèce. L'adsorption de ces ions radioactifs diminue par addition d'entraîneur (voir ci-dessous des exemples).

Dans le cas de l'échange d'un cation monovalent contre un bivalent, une formule complexe, déduite par ERIKSSON (4) des mêmes lois physiques que celles sur lesquelles est basée la théorie de GOUY-CHAPMAN, peut être réduite à une forme relativement simple moyennant certaines hypothèses (2),

$$\frac{\gamma_+}{\gamma_{++}} = \varphi(\Gamma)\frac{a_+}{\sqrt{a_{++}}} \qquad (3)$$

$\gamma+$ et $\gamma++$ désignent les quantités adsorbées, $a+$ et $a++$ les activités en solution.

φ (Γ) est une fonction décroissante de la densité électrique superficielle de l'échangeur, et demeure approximativement constant si plus des 2/3 des ions adsorbés (exprimés en équivalents) sont bivalents.

Cette formule, assez usitée aujourd'hui, peut également être déduite de la théorie de DONNAN (mise à part l'expression φ (Γ)). Avec la notation adoptée plus haut, la formule devient :

$$\frac{s}{1-s} = \varphi(\Gamma)\sqrt{2N}\frac{f_+}{\sqrt{f_{++}}}\frac{l}{\sqrt{1-l}}$$

où s et l désignent les proportions du cation monovalent dans le solide et le liquide, 1-s et 1-l celles du bivalent.

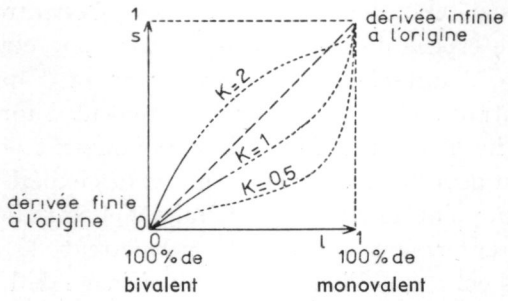
N est la normalité globale de la solution.

$f+$ et $f++$ sont les coefficients d'activité des 2 cations en solution. Ils demeurent sensiblement constants si l'un ou l'autre des deux cations domine largement. D'ailleurs, pour une concentration globale constante de 0,02 N, et pour des anions monovalents (électrolytes forts), le rapport $f^{+}/\sqrt{f^{++}}$ ne varie que de 1,18 à 1,22 lorsque la porportion du cation monovalent dans le système varie de 0 à 1.

Si la proportion du monovalent est assez petite pour que φ (Γ) demeure pratiquement constant, et si la somme des concentrations et la nature de l'anion sont maintenues constantes, la formule devient :

$$\frac{s}{1-s} = k\,\frac{l}{\sqrt{1-l}}. \qquad (4)$$

Elle est représentée par le graphique 3.



GRAPHIQUE 3

A noter que si le cation monovalent est en faible proportion, la formule (4) équivaut sensiblement à la formule (1), le terme 1-l demeurant voisin de l'unité.

En résumé, aussi bien d'après la formule (4) que d'après la formule (1), la distribution entre solide et liquide des cations bivalents comme des monovalents serait sensiblement indépendante de leur proportion tant que celle-ci reste petite, si le cation dominant est bivalent (ce qui est le cas de beaucoup de sols non acides).

D'après la formule (2) au contraire, la sélectivité de l'échangeur augmenterait indéfiniment pour tout cation au fur et à mesure que sa proportion diminue, et se manifesterait pour tout cation dont la proportion est suffisamment petite.

BUT DU TRAVAIL

C'est au cours d'une étude sur l'accumulation dans le sol et les récoltes du césium 137 et du strontium 90, éléments radioactifs produits par la fission de l'uranium 235, que nous avons essayé de préciser la question débattue ci-dessus. Les quantités de Cs ou Sr radioactifs — sans entraîneurs — susceptibles d'être apportées au sol sont absolument négligeables vis-à-vis de Cs ou Sr que renferment naturellement les sols d'après la bibliographie (5,6). En conséquence, la distribution de Cs ou Sr entre sol et solution du sol, ou entre sol et plante, n'est pas modifiée par l'apport de Cs ou Sr radioactifs ; à l'équilibre, la distribution de ceux-ci doit être identique à celle de Cs ou Sr préexistants, et d'ailleurs indépendante de la quantité d'éléments radioactifs apportée, pour un système plante-sol donné — conformément au principe fondamental de l'emploi des isotopes comme traceurs — ce qui sera, d'ailleurs, vérifié ci-dessous. Or, les quantités de Cs ou Sr des sols, quoique très largement variables d'un sol à l'autre, demeurent en général petites vis-à-vis de la capacité d'échange du sol (vis-à-vis de Ca^{++} dans la majorité des sols neutres). Leur distribution dans une espèce de sol donnée devrait donc être indépendante de leur quantité d'après la formule 1 pour Sr, et d'après la formule 3 pour Cs. Au contraire, elle en dépendrait fortement d'après la formule 2. Il nous a paru intéressant de le préciser, notamment pour savoir dans quelle mesure on peut généraliser les résultats des expériences culturales. Par ailleurs, d'un point de vue plus général, Cs et Sr radioactifs, qu'il est facile de se procurer sans entraîneurs, permettent de pousser l'étude quantitative des échanges d'ions jusqu'au voisinage de l'origine des diagrammes, à cause de la grande sensibilité du comptage de la radioactivité. En outre, l'étude de comportement du Cs et Sr vis-à-vis du sol ou des plantes peut éclairer nos connaissances sur celui d'autres ions présents en faible proportion.

TECHNIQUE

Un sous-sol de limon (argile illitique et montmorillonitique essentiellement) a été longuement lessivé au moyen de $Ca\,Cl_2$, $Sr\,Cl_2$, Cs Cl ou K Cl pour remplacer le plus complètement possible ses cations échangeables par le cation désiré. Une suspension (2μ) de kaolinite calcique (neutralisation par $Ca\,(OH)_2$ d'une kaolinite H obtenue par traitement H Cl) a été également utilisée.

Le sol ou l'argile ont été agités en présence de solutions de chlorures de normalité constante, environ 0,01 ou 0,04 N, dans des flacons en polyéthylène, qui adsorbe moins que le verre les cations présents à faible con-

centration. On avait ajouté au préalable une quantité connue des isotopes radioactifs Sr^{90} ou Cs^{137}, sans entraîneur.

Nous avons admis qu'à l'équilibre la répartition de Sr ou Cs échangeables entre solide et liquide est la même que celle de l'isotope radioactif correspondant (aucun des faits observés n'est en désaccord avec ce principe). Connaissant la quantité totale de Sr ou Cs introduite, on peut déterminer leur répartition sans aucun dosage chimique, par simple comptage de Sr ou Cs radioactifs restés en solution. La fraction retenue par le solide a été calculée par différence. Sr et Cs radioactifs ont été dosés en solution au moyen d'un compteur à liquide.

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

a) Distribution des éléments radioactifs ajoutés à doses variables sans entraîneur.

Les deux expériences suivantes montrent que la fraction de Sr^{90} ou Cs^{137} restée en solution est indépendante, aux erreurs près, de la quantité de ces éléments ajoutée.

1° 20 g de sol de limon + 100 cc solution $CaCl_2$ 0,02 M, + petite quantité constante de Sr entraîneur : $1{,}7 \times 10^{-5}$ milliéq. Sr Cl_2 ; 6 jours d'agitation.

Centaines de cps/min.

Radioactivité ^{90}Sr ajoutée	15,6	23,5	39	78	125	156	235	391	782	1250
Radioactivité restée en solution.....	7,6	12	19	39	67	79	123	196	388	604
Fraction restée en solution, en %	48,5	51	50	50	54	50	53	50	50	48

2° 0,3 g de terre de limon calcique + 500 cc $CaCl_2$ 0,02 M ; sans addition de Cs entraîneur — 3 h d'agitation.

Microcuries ^{137}Cs ajoutées	0,1	0,4	0,8	2	4
Fraction restée en solution en %.....	19 %	18 %	19 %	18 %	17 %

Dans le cas de Cs, nous avons dû adopter un rapport terre/eau très petit, car dans les mêmes conditions que pour Sr, la radioactivité Cs restée en solution était trop petite pour pouvoir être comptée avec précision. Ainsi, Cs^{137} est beaucoup plus fortement retenu que Sr^{90} par la terre expérimentée (pour de faibles proportions de l'un et de l'autre).

Le fait que la distribution relative de ces ions radioactifs dans le sol étudié s'est révélée indépendante de leur quantité peut s'interpréter de deux façons :

1° Comme déjà signalé, si la masse de Sr ou Cs radioactifs reste négligeable vis-à-vis de Sr ou Cs du sol, la distribution de ceux-ci ne sera pas modifiée, et la distribution des premiers, calquée sur elle, sera constante.

2° Même si la masse de Sr ou Cs radioactifs n'est pas négligeable vis-à-vis de Sr ou Cs du sol, leur distribution sera encore constante, à la condition que leur échange contre Ca comporte une proportionnalité, conformément aux formules 1 et 4 ci-dessus pour de faibles proportions de Sr ou Cs vis-à-vis de Ca.

Divers auteurs, notamment J. M. BOWEN et J. A. DYMOND (6) ont dosé Sr échangeable dans divers sols, les auteurs cités par activation dans une pile atomique. Les valeurs trouvées varient entre 0,63 et 2840 mg Sr par kg de sol. La plus petite de ces valeurs correspond à $1{,}43 \times 10^{-4}$ milliéquiv. dans les 20 g de sol utilisés (sans compter la petite quantité constante de Sr ajoutée, $1{,}7 \times 10^{-5}$ milliéq.). Or, la plus forte quantité de Sr radioactif ajoutée dans notre essai correspond à $1{,}1 \times 10^{-8}$ milliéquivalent. Les résultats concernant Sr peuvent donc être expliqués par la première hypothèse. Nous verrons d'ailleurs ci-dessous que l'échange de Sr contre Ca dans le sol en question s'écarte peu d'une proportionnalité, conformément à la formule 1.

En ce qui concerne Cs, Gabriel et Didier BERTRAND ont dosé par spectrométrie dans divers sols des quantités de Cs soluble dans HCl concentré à chaud variant de 0,3 mg à 25,7 mg par kg (5). La plus petite de ces quantités correspond pour les 0,9 g de sol utilisés à environ 2×10^{-6} milliéq. Or, la plus forte quantité de Cs radioactif ajoutée dans notre essai correspond à $3{,}6 \times 10^{-7}$ milliéquiv. Ainsi, nous ne pouvons pas affirmer que Cs radioactif est négligeable vis-à-vis de Cs préexistant, d'autant plus que nous avons préalablement lessivé le sol par $CaCl_2$, et que vrai semblablement, Cs soluble dans HCl concentré n'est échangeable que pour une petitefrac tion.

Cependant, nous verrons plus loin que la loi d'échange de Cs contre Ca est très éloignée d'une proportionnalité ; étant donné que nous avons constaté cette proportionnalité pour Cs radioactif sans entraineur, nous devons admettre que dans notre essai, la quantité de Cs est restée pratiquement constante et qu'en conséquence Cs radioactif ajouté était négligeable vis-à-vis de Cs du milieu. La purification préalable du sol par lessivage au moyen d'une solution $CaCl_2$ est, sans doute, illusoire, les traces de Cs étant très fortement retenues (voir ci-dessous) ; par ailleurs $CaCl_2$ utilisé n'est pas nécessairement exempt de Cs.

Ajoutons que dans le sol en place, les plus petites quantités de Sr ou Cs dosées par les auteurs précités sont incomparablement plus grandes (au moins 1 000 000 de fois plus) que Cs ou Sr provenant actuellement des retombées radioactives.

b) **Échange Strontium-Calcium.**

Voici successivement des résultats concernant un sous-sol de limon et une kaolinite.

1° 20 g de terre de limon à l'état calcique + 100 cc $CaCl_2$ + $SrCl_2$ de concentration globale 0,04 N (quantité totale des cations échangeables dans le système 6,8 milliéquiv.); + 0,25 microcurie ^{90}Sr ; 7 jours d'agitation.

Sr entraîneur ajouté en 10^{-3} milliéq.	0	0,04	0,4	4	40	400	2000	4000
Fraction de la radioactivité retenue par la terre en %	34 %	33 %	34 %	33 %	32 %	27 %	27 %	25 %
$\frac{s}{1-s} : \frac{l}{1-l}$	0,71	0,70	0,71	0,70	0,66	0,50	0,40	0,18

2° 3,8 g de Kaolinite Ca+ 90 cc de $CaCl_2$ + $SrCl_2$ de concentration globale 0,02 N (quantité totale de cations échangeables dans le système : 2,2 milliéq.); + 0,25 microcurie de ^{90}Sr; 5 jours d'agitation.

Sr entraîneur ajouté en 10^{-3} millieq.	0	0,02	0,1	0,4	2	20	100	800	1800
Fraction de la radioactivité retenuepar la kaolinite en %	12 %	11 %	12 %	13 %	11 %	8 %	9 %	8 %	6 %
$\frac{s}{1-s} : \frac{l}{1-l}$	0,59	0,53	0,59	0,64	0,5	0,4	0,4	0,25	0,02

Les valeurs de s et de l ont été calculées en supposant que les échangeurs ne contenaient pas de strontium.

Le deux expériences concordent sur les points suivants :

1° Aux faibles doses de Sr, sa distribution relative est pratiquement indépendante de sa proportion, pour un intervalle de variation des doses ajoutées de 1 à 1 000 ou de 1 à 100.

Les courbes s en fonction de l sont du type 1 (voir l'introduction) avec apparemment une dérivée finie à l'origine.

Cependant pour des proportions relativement grandes ou dominantes de Sr, on observe que le quotient des rapports Sr/Ca dans le solide et dans le liquide diminue.

2° Les deux argiles considérées ont une sélectivité pour Ca par rapport à Sr (jusqu'aux plus faibles doses de Sr expérimentées).

En définitive, nous constatons que pour une faible proportion de Sr, la rétention relative de cet ion, moins fortement retenu que Ca, n'augmente pas par diminution de la proportion de Sr, comme l'impliquerait la formule 2. Au contraire, pour une proportion réduite de Ca, la rétention de cet ion, plus fortement retenu que Sr, tend à augmenter quand sa proportion diminue.

c) Échange Césium-Calcium.

Nous avons adopté un faible rapport terre/solution pour éviter que la terre n'absorbe la quasi totalité de la radioactivité dans tous les cas, Cs étant très fortement retenu.

1° 0,9 g de terre de limon à l'état calcique + 300 cc solution $CaCl_2$

+CsCl de concentration globale 0,0117 N. Quantité totale de cations dans le système : 3,67 milliéq. + 6 microcuries ^{137}Cs. 1 jour d'agitation.

^{137}Cs ajouté en 10^{-3} milliéq.	0	0,5	1,5	5	100	500
Fraction de la radioactivité retenue par la terre en %	97,4%	53%	34%	27%	7%	6%
$\frac{s}{1-s} : \frac{l}{1-l}$	81	24,4	11,1	8,03	1,74	1,43

2° 0,925 g Kaolinite Ca + 100 cc de solution $CaCl_2$ + CsCl de concentration globale variant de 0,01 N à 0,011 N (0,015 N pour le dernier cas). Quantité totale de cations dans le système : 1,1 à 1,2 (1,6) milliéq. ; + 2 microcuries de ^{137}Cs ; 4 jours d'agitation.

^{133}Cs ajouté en 10^{-3} milliéq.	0	0,05	0,15	0,5	1,5	5	15	50	100	500
Fraction en % de la radioactivité retenue	69%	40%	35%	31%	27%	23%	19%	17%	13%	6%
$\frac{s}{1-s} : \frac{l}{1-l}$	21,8	6,6	5,2	4,35	3,65	2,92	3,3	2,1	1,6	0,9

Ces résultats ne peuvent pas être représentés par une formule du type 1, ni par une formule du type 3 ou 4, où l'ion bivalent dans le liquide intervient par la racine carrée de son activité ou de sa concentration. Ils sont assez bien représentés par une formule du type 2 (ROTHMUND-KORNFELD) où le rapport des concentrations dans le liquide est affecté d'un exposant inférieur à l'unité.

Ces expériences ne permettent pas de décider s'il y a intérêt à remplacer $1-l$ par $\sqrt{1-l}$ (cation bivalent) dans la formule 2, $1\text{-}l$ restant voisin de l'unité.

Les résultats peuvent être représentés par les formules suivantes : (les termes en numérateur correspondent à Cs, ceux en dénominateur à Ca) :

$$\text{Sol de limon :} \quad \frac{s}{1-s} = 0{,}56\left(\frac{l}{1-l}\right)^{0{,}685}$$

$$\text{Kaolinite :} \quad \frac{s}{1-s} = 1{,}009\left(\frac{l}{1-l}\right)^{0{,}82}.$$

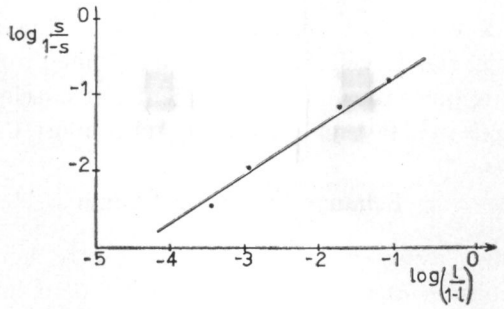
L'accord entre les formules et les résultats expérimentaux est indiqué par les graphiques 4 et 5.

Dans les deux expériences le « coefficient de sélectivité » de l'échangeur pour Cs par rapport à Ca diminue fortement par addition de quantités de Cs qui sont très petites par rapport à Ca. Pour le sol de limon, par exemple, il a suffi d'ajouter environ 1/2 millième de milliéq. Cs, représentant environ la 7 000e partie de Ca, pour diminuer le rapport du Cs retenu au Cs en solution (s/l, pratiquement égal à $\frac{s}{1-s} : \frac{l}{1-l}$ pour les faibles quantités de Cs) de 81 à 24,4.

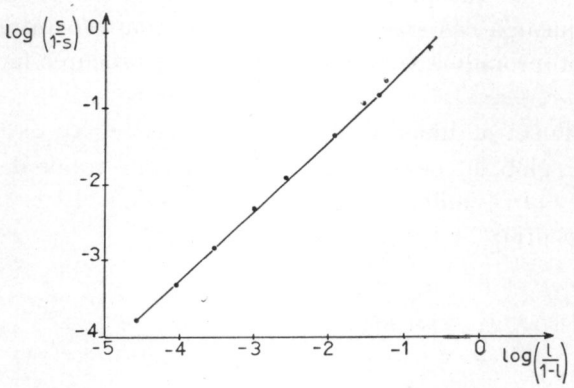
La fraction du Cs retenue par le sol tend vers 100 p. 100 lorsque le Cs est en très faible proportion (traces dans les réactifs, et Cs radioactif

ajouté) ; résultat conforme à l'hypothèse d'une dérivée infinie de la courbe à l'origine.

A noter que dans le cas de petites quantités de Cs, les résultats peuvent être représentés par la formule de FREUNDLICH sans tenir compte du calcium.



GRAPHIQUE 4
Échange Cs-Ca dans un sol de limon.



GRAPHIQUE 5
Échange Cs-Ca dans une kaolinite.

En définitive, le sol de limon comme la Kaolinite présentent une sélectivité marquée pour Cs par rapport à Ca tant que Cs est en faible proportion. Mais cette sélectivité tend à s'inverser lorsque la proportion de Cs devient suffisamment grande, et nous verrons que pour le couple Cs-Sr, elle s'inverse effectivement.

d) **Échange Césium-Potassium.**

Dans le cas de l'échange de cations tous deux monovalents, Cs et K, les résultats sont analogues aux précédents (du moins pour les faibles proportions de Cs, seules expérimentées) :

0,45 g de sol de limon à l'état potassique +150 cc de KCl + CsCl

de concentration globale constante 0,0117 N. Quantité totale de cations dans le système : 1,83 milliéq. + 2,1 microcuries ^{137}Cs ; 4 jours d'agitation.

^{133}Cs ajouté en 10^{-3} milliéq.	0	0,25	0,75	2,5	50	250
Fraction de la radioactivité retenue par le sol	82 %	51 %	34 %	20 %	9 %	8 %
$\frac{s}{1-s} : \frac{l}{1-l}$	99,5	23	11	5,4	2	1,5

Ici encore, le coefficient de partage du Cs en faveur du solide par rapport au liquide, très élevé lorsque Cs est en infime proportion, diminue au fur et à mesure que sa proportion augmente, et la sélectivité n'est pas loin d'être inversée, en faveur de K, pour un rapport Cs/K égal à 0,16.

e) Échange Strontium-Césium.

Comme nous l'avons déjà signalé dans l'introduction, les cations strontium et césium sont particulièrement utiles pour la présente étude, car il est facile de se procurer pour l'un et pour l'autre, un isotope radioactif sans entraîneur, de sorte qu'il est possible d'étudier expérimentalement leur échange pour une proportion quelconque de l'un ou de l'autre, et notamment jusqu'à des traces infimes de l'un ou de l'autre. Le calcium n'a pas d'isotope radioactif que l'on puisse se procurer facilement sans entraîneur.

1° 7 g de sol de limon à l'état cesique + 100 cc CsCl + $SrCl_2$ de concentration globale constante : 0,02 N. Quantité totale de cations dans le système : 3,015 milliéq., dont 1,015 dans le sol et 2 en solution ; + 0,25 microcurie ^{90}Sr ; 6 jours d'agitation.

$^{88}Sr\ Cl_2$ ajouté en 10^{-3} milliéq	0	2,2	2	200	1000
Rapport Cs/Sr dans le système	très grand	15.075	1.506	14,1	2,01
Fraction de la radioactivité retenue par le sol	95 %	92 %	88 %	53 %	30 %
$\frac{s}{1-s} : \frac{l}{1-l}$	0,027	0,044	0,071	0 42	1,10

2° 1 g de sol de limon à l'état strontique + 100 cc $SrCl_2$ + CsCl de concentration globale constante : 0,02 N. Quantité totale des cations échangeables dans le système : 2,145 milliéq. dont 0,145 dans le sol et 2 en solution ; + 4 microcuries ^{137}Cs; 6 jours d'agitation.

^{133}Cs Cl ajouté en 10^{-3} milliéq	200	2	0,2	0
Rapport Cs/Sr dans le système	0,103	0,00093	0,000093	infime
Fraction de la radioactivité retenue par le sol	11,5 %	50,7 %	87 %	99,8 %
$\frac{s}{1-s} : \frac{l}{1-l}$	2,4	14,3	92.2	6.900

s et l correspondent au césium ; le dernier rapport caractérise la sélectivité pour Cs par rapport à Sr.

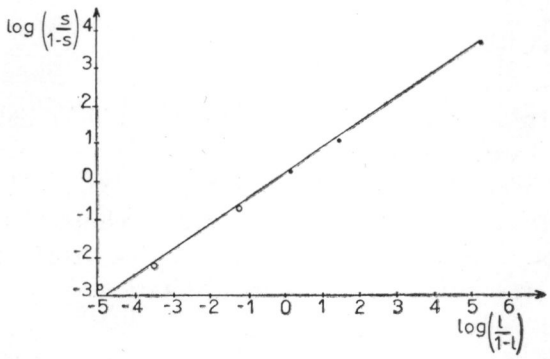
Ces deux expériences comportent une variation continue de la proportion de Cs ou Sr dans le système, pratiquement de 1 à 0 pour Cs et de 0 à 1 pour Sr. Les 2 tableaux peuvent être réunis en un seul en plaçant le 2e à la droite de l'autre. On voit que le rapport Cs/Sr dans le sol, divisé

par Cs/Sr dans le liquide diminue d'une manière continue au fur et à mesure que Cs diminue (et que Sr augmente). Ce quotient des rapports (coefficient de sélectivité) a varié de 0,027 à 6. 900. Ainsi aux fortes doses de Cs, le sol présente une forte sélectivité pour Sr (une faible sélectivité pour Cs) et aux faibles doses de Cs, il présente une forte sélectivité pour Cs (une faible sélectivité pour Sr).

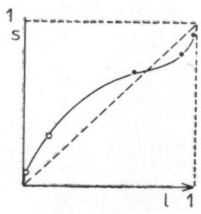
L'ensemble des deux séries de résultats peut être représenté par la formule :

$$\frac{s}{1-s} = 1{,}26\left(\frac{l}{1-l}\right)^{0{,}68}$$

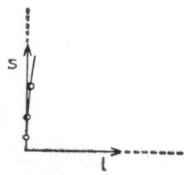
La concordance avec les chiffres expérimentaux est indiquée par le graphique 6.



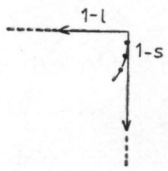
GRAPHIQUE 6



GRAPHIQUE 7



GRAPHIQUE 7 bis



GRAPHIQUE 7 ter

Échange Cs-Sr dans un sol de limon (*s* et *l* correspondent à Cs).
o avec Cs radioactif
• avec Sr radioactif.

Le graphique 7 indique en vraie grandeur la variation de *s* en fonction de *l*, les graphiques 7 *bis* et 7 *ter* la même variation au voisinage des origines.

Il y a lieu de noter que la sélectivité s'inverse, c'est-à-dire franchit l'unité pour un rapport Cs/Sr dans le système d'environ 3. On peut donc dire que le sol considéré est sélectif pour Cs par rapport à Sr, puisqu'il faut 3 fois plus de Cs que de Sr dans le système pour avoir une égale répartition des 2 ions entre les 2 phases, et que l'augmentation de la pro-

portion d'un ion diminue sa rétention relative. Mais on voit que la notion de sélectivité reste assez fragile, dans le cas examiné.

Cette expérience pourrait être considérée comme en faveur de la formule 2. En réalité, l'analogie des deux extrémités de la courbe, quant à leur forme, avec dérivée paraissant devenir infinie à chaque origine, n'implique pas nécessairement l'intervention d'une même cause. Vers l'origine droite la formule 4, où le cation en solution figure par sa racine carrée ; rend compte de la courbure observée ; vers l'origine gauche, la rétention préférentielle de Cs irait en s'accentuant au fur et à mesure que sa proportion diminue, pour une cause inconnue.

f) Influence des alternances de dessiccation et d'humectation sur la rétention de Cs et Sr radioactifs.

1° *Césium.*

2 g de terre + 0,015 milliéq. CsCl + 0,025 milliéq. $CaCl_2$ + 4 microcuries ^{137}Cs + eau q. s. 5 cc.

Certains échantillons ont été maintenus humides, d'autres ont été soumis à 3 dessiccations à 40°, alternant avec 3 réhumectations par l'eau. Finalement, on a complété à 500 cc avec $CaCl_2$ 0,01 N, et on a dosé la radioactivité en solution après 2 jours d'agitation.

Nature du sol.	Fraction de la radioactivité retenue par le sol, en % Avec dessiccation	Sans dessiccation
Argilo calcaire (Avignon)	78 74	56 57
Sous-sol de limon naturel	68 66	40 38
Sous-sol de limon Ca.	64 68	42 40

2° *Strontium.*

5 g de terre + 0,032 milliéq. $SrCl_2$ + 0,035 milliéq. $CaCl_2$ + 0,25 microcurie Sr.

Alternances de dessiccations et d'humectations comme ci-dessus. Finalement, volume amené à 100 cc avec $CaCl_2$ 0,01 N.

Nature du sol	Fraction de la radioactivité retenue par le sol, en % Avec dessiccation	Sans dessiccation
Argile calcaire (Avignon)	34 35	35 34
Sous-sol de limon naturel.	34 36	36 36

Ainsi la rétention du Cs ajouté est favorisée par les alternances de dessiccations et d'humectations — comportant, il est vrai, une élévation temporaire de température, — mais non celle du strontium. Rappelons que dans de nombreux sols (illitiques notamment) les mêmes alternances provoquent une extension des échanges de K, mais non de Ca.

g) **Cinétique de l'échange Césium-Calcium en l'absence de dessiccations.**

Conditions expérimentales : 0,9 g de terre + 3 milliéq. $CaCl_2$ + 0,005 milliéq. $CsCl_2$ + 2 microcuries ^{137}Cs. Volume 300 cc. Agitation pendant un temps croissant.

	Fraction en % de la radioactivité retenue par la terre				
Temps d'agitation	6 mn.	1 h.	3 h.	3 jours	10 jours.
Terre argilo calcaire	17,3	21,6	24,9	25,2	26
Sous-sol de limon naturel	23	25,2	26	26,6	27,2
Sous-sol de limon calcique	18,4	24	26	28,4	30,4

La courbe de rétention en fonction du temps comporte une branche rapidement ascendante, suivie d'une branche lentement ascendante. Dans le cas de l'échange K-Ca ; l'un de nous (7) a observé une cassure plus brutale du diagramme, se produisant au bout d'une minute environ, l'ascendance de la 2e branche n'étant pas statistiquement assurée.

CONCLUSIONS

1° Diverses théories physiques ont conduit, avec l'aide d'hypothèses simplificatrices, à des formules qui ne sont pas en accord avec des faits fréquemment constatés depuis longtemps. Ces formules impliquent que le coefficient de partage d'un cation entre sol et solution du sol serait pratiquement indépendant de sa proportion, tant que celle-ci reste petite, dans le cas de l'échange de deux cations de même valence (Sr-Ca) ou dans le cas d'un cation monovalent en faible proportion (Cs) s'échangeant contre un bivalent dominant (Ca).

Or, d'après les faits observés, la fraction de Cs radioactif retenue par le sol augmente fortement quand la proportion de Cs entraîneur diminue, conformément à l'allure générale des phénomènes d'adsorption. Inversement, l'addition de traces de Cs entraîneur a fortement diminué la fraction de Cs radioactif retenue par le sol. La distribution de Cs radioactif entre sol et solution du sol, ou éventuellement entre sol et plante, peut donc dépendre largement de la quantité d'isotope inactif contenue dans le sol.

Au contraire, le coefficient de partage du strontium entre sol et solu-

tion s'est révélé pratiquement indépendant de sa proportion, dans un sol donné, du moins pour de faibles proportions de Sr par rapport à Ca. Dans la mesure où ce parallélisme entre Sr et Ca est valable pour leur partage entre des phases quelconques (d'un organisme vivant notamment), la prise en considération du rapport Sr radioactif, /Ca (unités Surshine)-, de préférence à la quantité de Sr radioactif, en vue d'apprécier sa toxicité, se trouve justifiée.

2° Du fait que l'addition de Cs entraîneur en petite quantité diminue relativement beaucoup la rétention de Cs radioactif par le sol, on pourrait être tenté de conclure que le lessivage de Cs radioactif sera favorisé par l'enrichissement du sol en Cs. En réalité, dans le sol en place, la solution ne renferme à chaque instant qu'une très petite fraction de la plupart des cations présents. Si, par exemple, en présence d'une faible proportion de Cs, 150 mm de drainage annuel entraînent dans le dessus du sous-sol 1/10 000e du Cs radioactif présent dans la couche labourée, et si l'addition de Cs porte cette fraction à 1/1 000e, le lessivage de Cs radioactif restera pratiquement nul, alors que la fraction absorbée par les plantes pourrait éventuellement être augmentée

3° Etant donné que le coefficient de partage de Sr radioactif entre sol et solution du sol a été indépendant, dans nos expériences, de la proportion de Sr (pour une même capacité d'échange d'une même espèce de sol), il n'y a pas lieu de penser que l'évolution de Sr radioactif puisse dépendre de la proportion de Sr naturel dans le sol.

4° L'emploi de Cs et Sr radioactifs est particulièrement commode pour l'étude générale des échanges de cations. Ce sont à peu près les seuls cations radioactifs (du moins parmi les cations voisins de ceux qui intéressent le plus l'agronome) que l'on puisse se procurer facilement sans entraîneur. Or, l'emploi de cations radioactifs sans entraîneur, qui permettent un marquage par l'addition de masses absolument négligeables, offre une grande souplesse expérimentale.

5° C'est la raison pour laquelle nous avons poussé l'étude de l'échange Cs-Sr, ce couple étant pris comme modèle de l'échange d'un monovalent (K par exemple) contre Ca. Nous avons constaté que conformément à l'ancienne formule empirique de ROTHMUND-KORNFELD, Cs est très fortement adsorbé aux faibles proportions de Cs, et Sr fortement adsorbé aux faibles proportions de Sr. Le coefficient de sélectivité pour Cs par rapport à Sr, d'un sol montmorillonitique-illitique, a varié dans nos expériences de 0,027 à 6.900, selon la proportion décroissante de Cs par rapport à Sr. Ainsi, bien que l'on puisse dire que Cs est plus fortement retenu que Sr, la notion de sélectivité d'un échangeur apparaît comme assez fragile.

RÉSUMÉ

Après avoir rappelé quelques formules quantitatives des échanges d'ions, les auteurs étudient à l'aide du strontium 90 et du césium 137, radioéléments sans entraîneurs, les échanges du strontium et du césium utilisés en faibles proportions contre d'autres cations, en particulier le calcium et le potassium. Ils étudient aussi l'échange strontium-césium pour une proportion quelconque de l'un et de l'autre cation et notamment jusqu'à des proportions infimes de l'un et de l'autre.

SUMMARY

The exchange of cations present in minute quantities, as applied to the retention of radioactive strontium and cesium in soil.

After a brief review of some quantitative equations of ion exchange, a study using ^{90}Sr and ^{137}Cs is made of the exchange between small amounts of strontium and cesium with other cations, especially calcium and potassium. The exchange strontium-cesium in variable proportions, down to quite minute ones, is also investigated.

ZUSAMMENFASSUNG

Ober den Umtausch von in geringen Mengen vorhandenen Kationen. Anwendungen bei der Sorption des radioaktiven Strontiums und des radioaktiven Caesiums in Boden.

Nach einem Rückblick auf einige mengenmässige Formeln der Ionenumtauschvorgänge, untersuchen die Verfasser die Umtauschvorgänge des Strontiums und des Caesiums, die in geringen Mengen als Strontium 90 und als Caesium 137 ohne Träger angewandt wurden, mit anderen Kationen, im besondern mit Kalzium und Kalium. Sie untersuchen auch der Umtausch Strontium-Caesium bei einem beliebigen Verhältnis des einen oder des anderen Kations und zwar bis zu einem winzigen Verhältnis des einen und des anderen.

К обмену катионов находящихся в ничтожных количествах. Применение к удержанию в почве радиоактивных стронция и цезия.

Ж. БАРБЬЕ и Л. ДЮВАЛЬ.
Центральная Агрономическая Станция. Версаль.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Авторы, напомнив некоторые количественные формулы обмена ионов, изучают при помощи стронция 90 и цезия 137, элементов без увлекателей, обмены стронция и цезия, изучаемых в слабых количествах, с другими катионами, в частности с кальцием и калием. Они изучают также обмен стронций-цезий, когда один из них находится в какой бы то ни было пропорции по отношению к другому и в частности до пропорций ничтожных.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) HUTSCHNEKER. — Thèse de Doctorat. Polytechnikum de Zurich 1955.
(2) SCHUFFELEN et BOLT. — *Int. Soc. of Soil. Sc.* (Comm. II et IV) 132 Hambourg, 1958.
(3) ROTHMUND-KORNFELD. — *Zeitschr. f. anorg. und allg. Chemie*, **103**, 129, 1918.
(4) ERIKSSON. — *Soil Sc.*, **74**, 103(1952).
(5) BERTRAND (Didier et Gabrile). — *C. R. Ac. Sc.*, **229**, 553 (1949).
(6) BOWEN et DYMOND. — *Proc. of Roayèl Soc. of London*, **144**, 355(1955).
(7) TENDILLE (C.), GRENIER DE RUÈRE (J.) et BARBIER (G.). — *C. R. Ac. Sc.*, **243**, 87-89 (1956).

634·975 + 634·11 : 546·47 + 546·56

LE ZINC ET LE CUIVRE DANS LE SAPIN ET LE POMMIER EN FONCTION DE LA NATURE DU SOL

PAR

P. PIERRON

Laboratoires de chimie minérale et de chimie biologique
de la Faculté des Sciences, Lyon

Dans un précédent travail (1) nous avons étudié l'influence de l'acidité du sol sur la quantité de manganèse et de fer présent dans les végétaux. Cette étude avait été faite sur le sapin, espèce végétale communément répandue qu'il était possible de prélever sur des terrains les plus divers. Les nombreux échantillons que nous avions réunis dans ce but étant toujours à notre disposition, nous avons jugé intéressant de rechercher l'influence du pH du sol sur la présence de deux autres éléments d'importance notoire dans le domaine végétal : le Cuivre et le Zinc.

Les études publiées montrent que ces métaux existent dans tous les végétaux, à des teneurs d'ailleurs faibles et fort variables (2) ; plusieurs auteurs ont écrit que l'acidité du sol augmentait leur mobilité (3) et que sur certains sols à pH faible, ces métaux devenaient toxiques (4). Le cuivre semble cependant être moins sensible à cette influence si on en juge par les travaux de PIPER (5).

Nos propres chiffres, dont l'intérêt s'augmente du fait qu'ils concernent le sapin, espèce végétale qui s'avère plus riche que les autres en ces deux éléments, montrent que la teneur en zinc augmente avec l'acidité du terrain mais que la teneur en cuivre n'est pas influencée par elle. Nous avons généralisé ce résultat en étudiant une seconde espèce végétale particulièrement répandue, le pommier dont les échantillons ont été prélevés sur des terrains voisins de ceux qui avaient produit les sapins sur lesquels nous avions travaillé. Tous nos prélèvements ont été faits sur les arbres intéressés, à la même époque (mois de juillet), car nous avons constaté quelquefois une certaine variation des chiffres au cours de la saison, et notamment dans la feuille de certains pommiers. Le dosage des deux éléments est effectué sur les cendres provenant de l'inci-

nération des échantillons végétaux et après leur dissolution dans l'acide chlorhydrique 0,1 N et élimination de la silice par l'acide fluorhydrique. L'analyse du Cuivre est effectuée selon une méthode récente (6). La prise d'esai (5 cc) est additionnée de 1 cm³ de tartrate de sodium à 20 p. 100 et 1 cm³ de chlorhydrate d'hydroxylamine à 20 p. 100 ; elle est mise dans un décanteur et agitée pendant 5 minutes avec 5 cm³ d'une solution de 2-2'diquinoléine dans l'alcool amylique à 0,02 pour 100. La couche amylique bien décantée possède une coloration rose due au complexe cuivreux ; une mesure au colorimètre permet de déterminer la quantité de cuivre présent.

L'analyse du zinc est faite sur une prise d'essai (3 cm³) de la solution chlorhydrique qu'on alcalinise faiblement avec de l'ammoniaque en présence de quelques gouttes de citrate d'ammoniaque à 20 p. 100. On la verse dans un décanteur et l'extrait par agitation avec une solution de dithizone dans le chloroforme (0,005 p. 100) (7). Le cuivre passe en même temps que le zinc dans la couche organique ; le fer et le manganèse et nous l'avons vérifié d'une façon précise, restent dans la couche aqueuse et ne perturbent pas le dosage ; les métaux susceptibles de donner des erreurs (Bi, Cd, Ag) sont absents. On peut donc doser l'ensemble, zinc et cuivre, en mettant la solution de dithizone fraîchement préparée dans une burette graduée ; on fait couler un ou plusieurs centimètres cubes de cette solution dans le décanteur et on agite bien ; on recommence cette extraction avec chaque fois un ou un demi centimètre cube, jusqu'à ce que la fraction de solution de dithizone ne change plus de couleur ; on fait la lecture du volume total de solution chloroformique employée. La solution de dithizone a été au préalable étalonnée avec une solution de sel de zinc ou de cuivre de titre connu ; le volume de solution est le même pour une quantité égale de l'un ou l'autre métal, comme nous l'avons vérifié. La teneur en zinc est calculée en tenant compte de celle du cuivre qui est déjà connue (précision des mesures 5 à 8 p. 100).

Nous avons analysé les sols dans le but de comparer leur teneur en cuivre et en zinc « assimilable » sans chercher à doser la teneur totale sans intérêt pour nous. Le traitement des échantillons bien calcinés et porphyrisés avec une solution d'acide citrique diluée, ou bien d'acétate d'ammoniaque N ne nous a pas permis de trouver des quantités de cuivre ou même de zinc mesurables. Nous avons du employer un réactif plus énergique, l'acide nitrique N/20. Malgré cela, les chiffres que nous avons obtenus sont cependant faibles et probablement pas exactement reproductibles. Ils ont l'avantage de montrer que la richesse des sols en ces deux éléments, n'était pas très différente de l'un à l'autre de nos échantillons.

Tous nos résultats quantitatifs sont exprimés en γ et rapportés à 1 g des cendres s'il s'agit d'un végétal, et à 1 g de terre s'il s'agit d'un sol.

Le tableau I contient les chiffres relatifs au sapin.

TABLEAU I

Sapin.

Origine de l'échantillon et pH du sol	Analyse du végétal		Analyse du sol	
	Cuivre	Zinc	Cuivre	Zinc
Saint-Didier-sur-Beaujeu (Rhône) pH = 4	Aiguilles 100 Bois 452 Ecorce 271	A. 960 B. 1968 E. 2731	2	25
(Puy-de-Dôme) pH = 6	Aiguilles 98 Bois 572 Ecorce 261	A. 852 B. 1287 E. 1000	1,5	5
Quincie (Rhône) pH = 6,5	Aiguilles 123 Bois 710 Ecorce 1000	A. 720 B. 810 E. 785	3	3,5
Champfromier (Ain) pH = 7	Aiguilles 170 Bois 520 Ecorce 450	A. 920 B. 650 E. 500	2	6

Le tableau II contient les chiffres qui concernent le pommier.

TABLEAU II.

Pommiers.

Origine de l'échantillon et pH du sol	Analyse du végétal		Analyse du sol	
	Cuivre	Zinc	Cuivre	Zinc
Saint-Didier-sur-Beaujeu (Rhône) pH = 4	Feuilles 205 Bois 160 Ecorce 220	400 780 780	3	2,5
Aiguebelette I (Savoie) pH = 5	Feuilles 259 Bois 332 Ecorce 145	411 756 545	4	5
Aiguebelette II (Savoie) pH = 5,5	Feuilles 165 Bois 206 Ecorce 158	415 565 302	3	4,5
Quincie (Rhône) pH = 6,5	Feuilles 261 Bois 260 Ecorce 240	442 200 200	5	1 3

Remarque : Dans le champ Aigubelette I nous avons exceptionnellement constaté dans la feuille de certains sujets que la teneur en zinc dans les feuilles avait particulièrement augmenté au cours de la saison, soit :

Juillet	Cu = 220 γ	Zn = 730 γ
Septembre	Cu = 200 γ	Zn = 1100 γ
Octobre	Cu = 190 γ	Zn = 1500 γ

La végétation de cet arbre était remarquablement forte.

CONCLUSIONS

En ce qui concerne le sapin, on constate que le corps même de l'arbre (le bois et l'écorce) contient une quantité de zinc qui peut être élevée (cela confirme semble-t-il l'observation faite par BAUMANN (8) que les conifères résistent particulièrement bien à l'intoxication par le zinc). Cette teneur en zinc augmente avec l'acidité. La richesse en cuivre est indépendante du pH de la terre. Les aiguilles présentent, par contre, une régularité dans leur teneur en oligoélément qui mérite d'être signalée et qui est peut-être l'indice d'un rôle joué par ceux-ci dans la vie de cette partie de l'arbre.

Dans le pommier, la teneur en oligoéléments est plus faible, mais on constate, comme dans le sapin, que la teneur en zinc dans le corps de l'arbre (bois et écorce) augmente avec l'acidité du sol tandis que la quantité de cuivre en est indépendante et varie probablement en fonction de la richesse du sol. Dans la feuille, la quantité de zinc est indépendante de la réactivité du terrain et conserve une constance intéressante à noter, à condition de faire les prélèvements à la même époque. Nous avons cependant constaté, sur un sujet planté en terrain acide, une augmentation notable de cette teneur avec la saison ; cet arbre avait une végétation particulièrement brillante.

RÉSUMÉ

L'auteur constate que pour le sapin le corps même de l'arbre (bois et écorce) contient une quantité de zinc qui peut être élevée. Cette teneur en zinc augmente avec l'acidité. La richesse en cuivre est indépendante du pH de la terre. Les aiguilles présentent, par contre, une régularité remarquable dans leur teneur en oligoéléments.

Dans le pommier, la teneur en oligoéléments est plus faible, mais comme dans le sapin, la teneur en zinc dans le corps de l'arbre augmente avec l'acidité du sol, tandis que la quantité de cuivre en est indépendante et varie probablement en fonction de la richesse du sol.

Dans la feuille, la quantité de zinc est indépendante de la réactivité du terrain et conserve une constance intéressante à noter.

SUMMARY

The zinc and copper content of fir and apple trees in relation to the nature of soil.

The wood and bark of firs may contain high concentrations of zinc which increases with soil acidity. The copper content is unrelated to soil pH. The trace-element content of needles shows a high degree of constancy.

The trace-element contents in the apple tree are lower than in the fir, but again the zinc content of the wood increases with soil acidity, whole the copper content varies with soil composition rather than with pit values. The zinc concentration in the leaves is unrelated to soil reaction and shows high degree of constancy.

ZUSAMMENFASSUNG

Zink und Kupfergehalt der Tanne und des Apfelbaumes in Bezug auf die Bodeneigenschaften.

Der Verfasser stellt fest, dass, bei der Tanne, der Körper selbst des Baumes (Holz und Rinde) eine gelengentlich hohe Zinkmenge enthält. Diese Zinkmenge steigt mit der Bodensäure. Die Kupfermenge ist von der Bodenreaktion unabhängig. Die Nadeln dagegen zeigen eine bemerkenswerte Regelmässigkeit in ihrem Spurenelementgehalt.

Im Apfelbaum ist der Spurenelementgehalt geringer, doch, wie bei der Tanne, steigt der Zinkgehalt mit der Bodensäure, während der Kupfergehalt von der Bodenreaktion unabhängig und wahiecheinlich, von dem Kupfergehalt des Bodens abhängig ist.

Im Blatt ist die Zinkmenge vom Boden nicht abhängig und behält eine bemerkenswerte Regelmssigkeit.

Цинк и медь у ели и яблони в зависимости от природы почвы.

П. ПЬЕРРОН.

Естественно-исторический факультет. Лион.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Автор констатирует, что дерево и кора ели содержат количество цинка могущее быть значительным. Это содержание цинка увеличивается с кислотностью почвы. Содержание меди не зависит от pH земли. В иглах ели, наоборот, содержание олигоэлементов представляет замечательное постоянство.

У яблони, содержание олигоэлементов более слабое, но, как и у ели, содержание цинка в дереве увеличивается с кислотой почвы, тогда как количество меди от нее не зависит и изменяется, вероятно, в зависимости от богатства почвы.

В листе, количество цинка не зависит от реакции почвы и сохраняет заслуживающее внимания постоянство.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1) Pierron (P.). — Etude de la présence du zinc et du manganèse dans les résineux. *Ann. Agr.*, 1957, p.193.
(2) Javillier (M.). — Les Eléments chimiques et le monde vivant 1952. Flamarion Ed., p. 58, 59, 64, 65.
(3) Holmes (R. S.). — *Soil Sc.*, **56**, 359 (1943).
(3) Thorne (D. W.), Laws (W. D.) and Wallace (A.). — *Soil Sc.*, **54**, 463 (1942).
(4) Bertrand (G.) and Silfestein (L.). — *Ann. Agr.*, **4**, 23 (1955).
(5) Piper (C. S.). — *J. Agr. Sc.*, **32**, 143 (1942).
(6) Ducet (G.), Coppent (M.), Calvez (Mme) and Bake (J.). — *Ann. Agr.*, **44**, p. 597 (1954).
(7) Sandell (E. B.). — Colorimetric determination of traces of metal. New York 1944, p. 449.
(8) Javillier (M.). — Les éléments chimiques et le Monde vivant 1952, p. 184.

631473 (44)

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES SOLS DE LA RÉGION DE LAON

PAR

R. GRAS

Laboratoire des Sols, Versailles.

Ce rapport a été établi à la suite d'une prospection effectuée dans la région de Laon, dans le cadre de la cartographie au 1/20 000e des sols de l'Aisne entreprise sous la direction de G. HEBERT.

La prospection a été réalisée en collaboration avec la Station Agronomique de l'Aisne à Laon, qui s'est chargée des déterminations analytiques et a fourni les moyens nécessaires à la prospection.

Après avoir étudié les facteurs actuels d'évolution des sols et les roches-mères nous avons examiné les différents types de sol.

Cette étude sommaire permettra de proposer une classification des sols utilisable éventuellement pour la légende de la carte des sols au 1/20 000e.

Nous indiquerons enfin le schéma général de la répartition des sols du Laonnois.

SITUATION

La région de Laon est contiguë à trois provinces : Ile-de-France, Picardie et Champagne. Elle est bordée au sud et au sud-ouest par le plateau du Soissonnais, qui représente la terminaison des étages tertiaires de l'Ile-de-France. La partie nord dépend de la plaine limoneuse de Picardie, tandis que l'influence de la Champagne se manifeste à l'est.

La butte qui porte la ville de Laon délimite en gros deux zones :

— au sud la partie située entre le rebord du plateau Soissonnais et la butte de Laon, où bois, prairies humides et marécages dominent ;

— au nord la partie influencée par la plaine Picarde, beaucoup moins humide et où les cultures sont en majorité.

LES FACTEURS D'ÉVOLUTION DES SOLS

Nous allons étudier succinctement les facteurs agissant sur l'évolution actuelle des sols du Laonnois :

climat ;
topographie, hydrographie ;
végétation ;
homme ;
roche-mère.

A. — Climat.

Il présente une nette tendance continentale.

La pluviométrie annuelle moyennne est à Laon de 696 mm, alors que la moyenne du département de l'Aisne est de 728. Le nombre de jours de pluie est de 159. Le tableau suivant indique une répartition mensuelle assez régulière des précipitations et des jours de pluie.

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Précipitations (mm)...	57	44	52	45	58	66	74	64	71	72	63	62
Nombre de jours de pluie.....	15	12	12	14	13	11	13	13	12	14	15	15

La température annuelle moyenne est légèrement supérieure à 10°C.

Les données climatiques permettent d'évaluer le coefficient de drainage calculé de S. HENIN :

$$D = \frac{\gamma P3}{1 + \gamma P2} = m\ 165 \text{ mm}.$$

P : pluviométrie moyenne annuelle en mètre

$$\gamma : \frac{1}{0{,}15t - 0{,}13}.$$

t : température annuelle moyenne.

L'utilisation du coefficient $\gamma' = \alpha\gamma$ introduit par AUBERT et DUCHAUFOUR permet de tenir compte de la perméabilité de la roche-mère.

Pour les limons $\alpha = 1$ et la valeur de 165 mm est inchangée.

Pour les sables $\alpha = 2$ et la valeur du drainage calculée passe à 245 mm.

Ces valeurs du drainage calculé permettent de s'attendre à une évolution podzolique pour les sols sableux non calcaires et à un lessivage des sols de limon.

B. — Topographie et hydrographie.

Le Laonnois se présente comme une région très peu accidentée, d'altitude moyenne 70 mètres environ, dominée en son centre par la butte de Laon qui culmine à 180 mètres. Les petites buttes sableuses de faible altitude constituent à part cela l'essentiel du relief.

Le réseau hydrographique est très réduit et comporte les rivières de Cohayon et d'Ardon ; les sources de cette dernière rivière sont au niveau de la craie, ce qui explique que ses eaux contiennent des carbonate. de chaux et de magnésie. Du fait de l'absence de topographie, ces cours d'eau ne jouent leur rôle de drain que dans une bande étroite autour de leur lit ; ceci se manifeste au sud de Laon par l'existence de nombreux marais, prairies et forêts marécageuses.

C. — Végétation.

Sommairement deux zones peuvent être distinguées : l'une très cultivée au nord de Laon, l'autre au sud où dominent prés, bois et marais. Pour la commune de Laon les cultures représentent 65 p. 100 de la superficie et les prairies 14 p. 100 et de ce fait, un faible pourcentage de sol reste sous végétation naturelle.

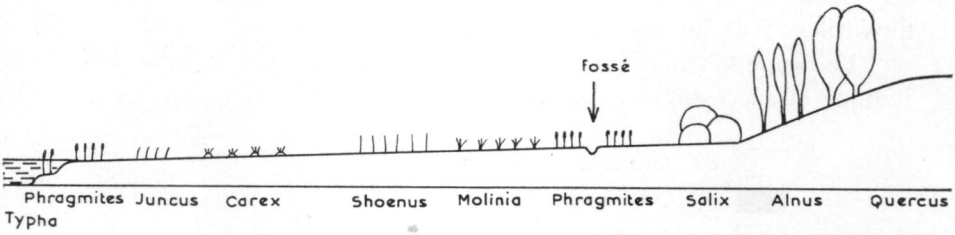


FIG. 1. — Succession de la végétation (d'après FROMONT).

Les bois sont surtout constitués de feuillus : chênes, noisetiers, bouleaux, quelquefois ormes et exceptionnellement de conifères. Ce sont souvent des taillis plus ou moins impénétrables dans le cas des forêts marécageuses. Les peupleraies sont étendues dans les bas-fonds.

Les marais portent une végétation naturelle caractéristique, dont la succession en s'éloignant de la rivière (fig. 1) est la suivante :

— les Typha poussent sur les zones couvertes de 30 à 50 cm d'eau ;

— les roseaux (Phragmites communis principalement) constituent la Phragmitaie ou roselière, en association avec Convolvulus sépium. Ils peuvent aussi apparaître sur les bords des fossés ;

— les joncs (Juncus sp) et les cyperacées (carex stricta et paniculata) se trouvent dans les zones moins inondées ;

— les Schoenus et Molinia apparaissent en zones mieux drainées;

— les saules en boules (Salix caproea) sont souvent associés aux rhamnus et aux sambucus.

— les Aulnus apparaissent sur les bords de la cuvette avec les chênes.

E. — L'homme.

L'agriculture de la région est essentiellement basée sur la culture du blé, de la betterave et de la pomme de terre, quoique d'autres spéculations existent aussi : maïs, cultures fruitières, endives. Elle conduit à l'incorporation au sol de quantités importantes d'engrais chimiques et d'amendements calcaires. Il y a également restitution de matières organiques : paille, collets de betteraves.

Enfin, l'action de l'homme se manifeste dans les zones cultivées et non cultivées par le creusement de fossés, de trous de plantation de peupliers, l'exploitation et le remblaiement des carrières et toutes les actions militaires consécutives aux deux guerres : construction d'abris, de tranchées, trous de bombes et d'obus.

F. — Les roches-mères.

Le Laonnois est constitué par des étages secondaires et tertiaires du bassin de Paris, eux-mêmes partiellement recouverts d'alluvions fluviatiles et de limons quaternaires.

La coupe schématique nord-sud (fig. 2) passant par la butte de Laon indique la succession des terrains.

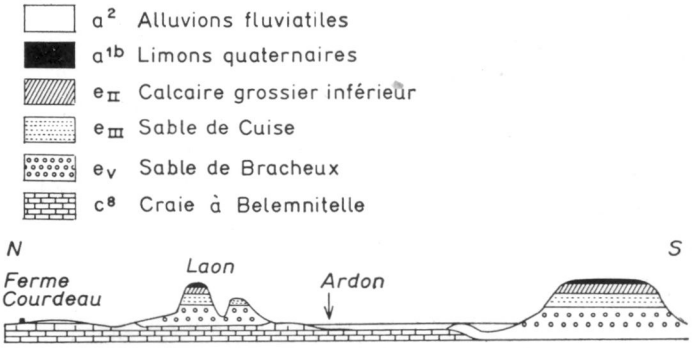


FIG. 2. — Coupe géologique Nord-Sud de la région de Laon.

Le secondaire est représenté par la craie à Belemnitelles (C^8). Au-dessus de cette craie blanche, qui apparaît nettement lors des forages de puits, se trouve un matériau calcaire, non signalé sur la carte géologique et que nous qualifierons de « diluvium ». Il sera étudié avec le quaternaire.

Les formations tertiaires sont représentées par :

— les sables de Bracheux (e_v) qui constituent la base de la butte de Laon et des buttes sableuses moins importantes. Ce sable blanc-gris ou jaune glauconieux repose exceptionnellement sur des blocs de grès sur la butte de Mothieu. Ce sont des sables fins comportant environ 80 p. 100 de grains entre 100 et 200. Il faut vraisemblablement rattacher à cette formation les sables argileux (30 à 15 p. 100 d'argile), verdâtres doux au toucher apparaissant à l'ouest de Laon :

— l'argile à lignite (e_{IV}) disparaît presque complètement aux environs de Laon ;

— les sables de Cuise (e_{III}) un peu glauconieux contenant Nummulites planulata sont à la partie moyenne de la butte de Laon. La partie supérieure de la formation est une argile grise, épaisse de 2 à 3 mètres : l'argile de Laon. Au sud de cette ville ont été trouvés des sables contenant des Nummulites silicifiées, qui pourraient être des lambeaux de cette formation ;

— le calcaire grossier inférieur (e_{II}) est au sommet de la butte de Laon.

Le quaternaire comprend :

— les alluvions modernes (a^2) de l'Ardon ;

— les limons des plateaux (a^{1b}) du nord de Laon ;

— le diluvium crayeux que nous étudions ici car il résulte vraisemblablement d'actions quaternaires. Ses caractéristiques sont :

— quantité variable d'éléments grossiers supérieurs à 2 mm de 0 à 44 p. 100 avec une valeur moyenne de 18,1 p. 100 ;

— teneur moyenne en calcaire de 55 p. 100 ;

— importante quantité de sables silicieux ;

— faible pourcentage de minéraux argileux (de 0,5 à 8 p. 100), mais quantité moyenne d'éléments de diamètre inférieur à 2 mm (de 8,4 à 30 p. 100).

Cette roche présente une grande variabilité aussi bien latéralement (répartition géographique) que verticalement. On peut distinguer schématiquement :

— le diluvium fin de couleur chamois et de structure farineuse à l'état sec. La fraction 0-2 μ varie entre 22 et 27 p. 100 et la fraction de 2-20 μ de 23 à 37 p. 100 ;

— le diluvium grossier de couleur blanchâtre, comporte des éléments grossiers dans un matériau fin. Il présente très souvent un lit de cailloux à sa partie supérieure et quelquefois des traînées de sable gris ;

— une argile bleue verdâtre contenant des cailloux roulés de calcaire a été trouvée mais plus rarement.

La teneur assez importante en éléments siliceux tendrait à montrer que lors de la formation de ce diluvium il y aurait eu mélange de sables

tertiaires et de produits de désagrégation de la craie. La présence de cailloux à la surface du diluvium et la forme festonnée de celle-ci, pourrait accréditer l'hypothèse d'une formation périglacière quaternaire (G. PEDRO : Communication verbale).

En fait, on rencontre essentiellement dans la région le diluvium crayeux et les sables. Les caractères importants des roches-mères sont alors les suivants :

— texture à dominante finement sableuse, conférant une grande importance à la teneur en argile pour la différenciation des sols ;

— nature calcaire ou non calcaire de la roche-mère avec superposition possible et apparemment aberrante d'éléments siliceux sur le calcaire ou inversement.

LES SOLS

Les considérations précédentes conduisent à prendre pour caractère fondamental la texture du sol. La présence du calcaire viendra en second lieu à cause de l'hétérogénéité de sa répartition. Les catégories de sols suivantes ont été distinguées :

les sols finement sableux ;
les sables fins moyennement limoneux ;
les sables argileux ;
les sols tourbeux et tourbes.

1. — Les sols finement sableux.

La fraction sable fin (50-200 μ) de ces sols est dominante et toujours supérieure à 55 p. 100. Les teneurs en argile varient de 1,5 à 20 p. 100. Le classement des teneurs en argile par classe de 2,5 en 2,5 p. 100 montre une fréquence minima pour la classe 7,5-10 p. 100 (fig. 3) ; ceci conduit à distinguer deux catégories de sols séparées par le pourcentage d'argile de 10 p. 100 :

les sables fins (moins de 10 p. 100 d'argile) ;
les sables fins un peu limoneux (plus de 10 p. 100 d'argile).

Les caractéristiques moyennes sont alors celles-ci :

Fractions	Sables fins	Sables fins peu limoneux
0 — 2	5,7	13,8
2 — 20	3,5	6,2
20 — 50	12,7	15,0
	9,2	8,8
50 — 200	77,6	64,9
200 — 2000	81,3	70,1
	3,6	5,2

Les diagrammes de la figure 3 indiquent les intervalles de variation des pourcentages et les classes modales les plus probables. On constate que ce sont seulement les fractions 50-2000 μ qui présentent des variations, alors que les fractions intermédiaires 2-50 μ sont sensiblement constantes.

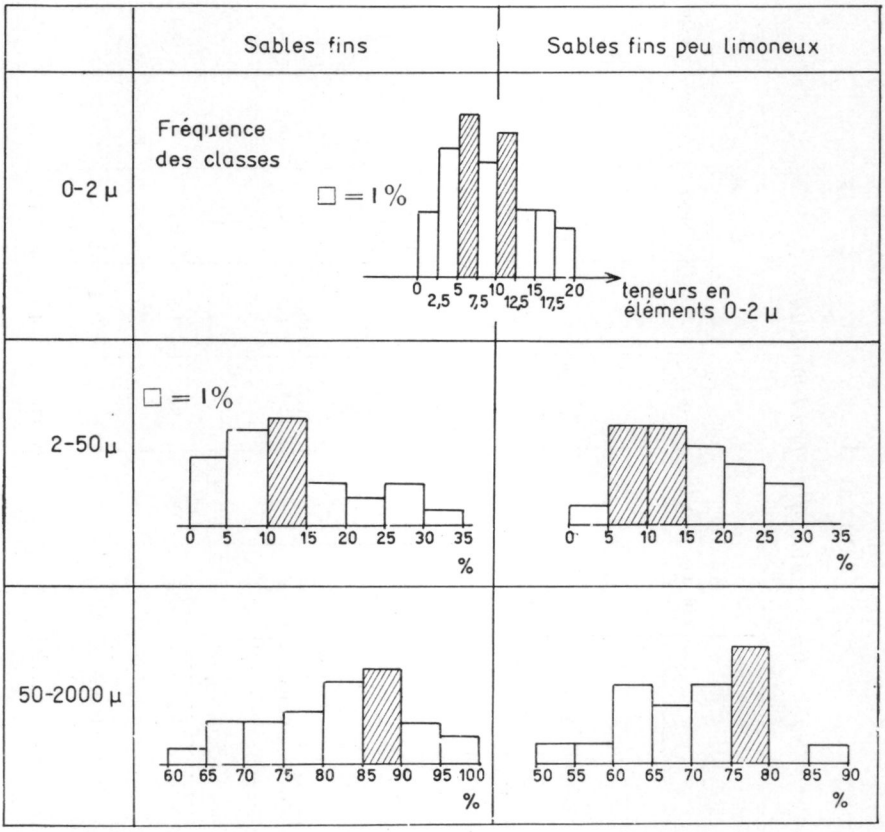


FIG. 3. — Sables fins : Diagramme de fréquence des pourcentages des fractions 0-2, 2-50, 50-2000 μ.

Certains de ces sols sont peu évolués, alors que d'autres présentent une évolution podzolique très marquée ou une certaine hydromorphie.

a) LES SOLS PEU ÉVOLUÉS : Ils peuvent être calcaires; les descriptions de ces sols sont consignées dans le tableau I (1°).

La plupart présentent un horizon plus argileux, dont l'épaisseur va de quelques centimètres à plusieurs dizaines. Cet horizon sablo-argileux, avec 15 à 30 p. 100 d'argile, existe en général immédiatement au-dessus du diluvium crayeux. Dans les sols sans diluvium, il apparaît le plus souvent entre 80 et 120 cm.

Si les sols de buttes ont en général une texture plus grossière, la

TABLEAU I

Sables fins et sables fins peu limoneux

Profils	Analyses								
	M. O.	C/N	0-2	2-20	20-50	50-200	200-2000	CO_3Ca	pH
1°) — *Sols peu ou pas évolués*									
A/ — *Sables fins*									
Sable fin calcaire avec horizon argileux mince sur diluvium fin : Sondage Laon 5 D 1									
Chaume — Pente très faible									
0-20 : brun rouge, calcaire, sable fin	1,6		7,3	2,4	8,0	77,0	1,9	1,8	8,1
20-40 : brun rouge, plus clair, sable argileux	—		26,8	17,7	14,2	34,7	6,6	3,2	8,0
40 : chamois, sableux avec petits débris de calcaire	—		9,6	13,0	17,2	57,5	2,7	61,0	8,5
Sable fin hydromorphe, non calcaire, avec horizon argileux sur sable Profil La Fère 8 H 20									
Chaume — Pente très faible									
0-35 : beige grisâtre, finement sableux, avec petits débris de calcaire	1,5	9,5	2,4	8,1	14,3	72,3	1,4	tr.	7,1
35-45 : beige marmorisé à pseudogley, sableux, non calcaire	0,5	5,7	3,2	13,7	6,2	75,0	1,4	0	7,2
45-160 : brun à taches rouilles, argilo-sableux. Porosité dûe aux racines. Dépôt de fer le long des tubulures des racines. Présence de concrétions noires vers 90 cm	0,4	—	21,4	16,5	23,8	36,9	1,0	0	7,2
160-190 : et au-delà. Sable un peu argileux, verdâtre glauconieux	0,4	—	13,1	8,2	18,7	58,7	0,9	0	7,0
Sable fin, non calcaire, avec accumulation de matière organique : Sondage Laon 5 26									
Taillis sous futaie : noisetiers, chênes, bouleaux, ormes, fougères, muguet									
0- 3 : brun noir, litière									
3-15 : brun noir finement sableux, peu humide	18,0	15,5	9,0	1,5	0,2	68,8	2,4	0	4,4
15-40 : brun clair, sable fin peu humide, non calcaire									
40-65 : brun clair un peu plus foncé avec taches de rouille finement sableux			5,7	3,2	6,1	81,9	3,1	0	4,3
65-85 , brun très clair, avec taches de rouille, finement sableux									
85-95 : verdâtre avec taches de rouille, sableux									
95-105 : verdâtre, sablo-argileux									
105-120 : verdâtre, finement sableux			14,9	4,1	7,4	73,2	0,4	0	4,8

TABLEAU I *(suite)*

Profils	Analyses								
	M. O.	C/N	0-2	2-20	20-50	50-200	200-2000	CO_3Ca	pH
B/ — *Sables fins légèrement limoneux*									
Sable fin, légèrement limoneux, calcaire, sur dilivium grossier : Sondage Laon 5 M 11									
Pente très faible									
0-25 : brun gris humifère, sable fin, légèrement limoneux. Débris de calcaire	4,0	11,2	15,6 *10,6*	8,4 *1,6*	8,7 *7,5*	59,0 *59,4*	4,3 *4,4*	*11,8*	7,5
25-45 : gris clair, sable fin, légèrement limoneux, calcaire			16,5 *9,9*	12,4 *1,5*	6,0 *4,2*	53,5 *56,7*	9,7 *2,6*	21,3	8,1
25-45 : gris clair, sable fin, légèrement limoneux, calcaire									
45 : craie jaunâtre dans matériau sableux, calcaire			23,0 *5,3*	19,8 *11,2*	1,2 *1,4*	47,3 *34,4*	8,7 *2,2*	55,0	8,5
N. B. — Les résultats analytiques en italique ont été obtenus après décalcification.									
2°) — *Sols évolués*									
Sol à horizon lessivé peu net : Profil Laon 5 W 15									
Prairie. Plan d'eau à 75 cm début Octobre. Eau noirâtre suintant du fond du trou :									
0-10 : brun noir, humifère, sableux	30,4	9,4(1)	11,2	3,7	5,2	44,0	5,7	0	6,7
10-22 : gris humifère, sableux, rouillé			5,7	0,8	8,1	76,0	9,4	0	5,0
22-26 : jaune verdâtre, décoloré, sableux, rouillé			4,0	0,8	6,3	82,0	6,9	0	7,6
26-38 : noir foncé, humifère	10,3	12,2(1)	3,7	3,0	3,7	65,8	13,5	0	6,9
38-44 : blanchâtre, rouillé			0,1	0,1	3,1	89,5	7,2	0	6,8
44-60 : noir foncé, humifère	4,7	25,5(1)	1,6	0,1	0,9	85,5	7,2	0	6,5
60-90 : gris clair à blanchâtre			1,6	0,1	3,0	84,5	10,8	0	6,6
90-130 : blanchâtre décoloré			0,1	0,1	1,4	88,5	9,9	0	5,1
Podzol typique à gley : Profil Laon 5 Z 9									
Zone plane, bois de chênes et de noisetiers. Plan d'eau à 105 cm fin Septembre									
0- 5 : brun noirâtre, litière de feuilles									
5-35 : brun noir, humifère avec grains de sable blanc décoloré	19,7	16,8	8,4	0,8	0,1	67,2	3,8	0	3,6
35-47 : blanc cendreux lessivé			0,1	0,8	2,9	94,5	1,8	0	4,9
47-57 : horizon noir foncé humifère, durci par endroits	1,6	7,0	0,1	4,0	1,3	91,2	1,8	0	4,6
57-125 : horizon d'accumulation de fer avec taches ocre rouille Taches brunes ocre durcies vers 110 cm	0,3	3,9	2,0	0,1	0,1	97,0	0,5	0	4,7
125- sable blanchâtre avec taches verdâtres de gley									

(1) C/N = obtenu par dosage du carbone par la méthode de ANNE à 8 % et dosage de l'azote sur liquide d'attaque.

répartition des sables fins et des sables fins peu limoneux ne paraît obéir à aucune règle déterminée en dehors de ces buttes.

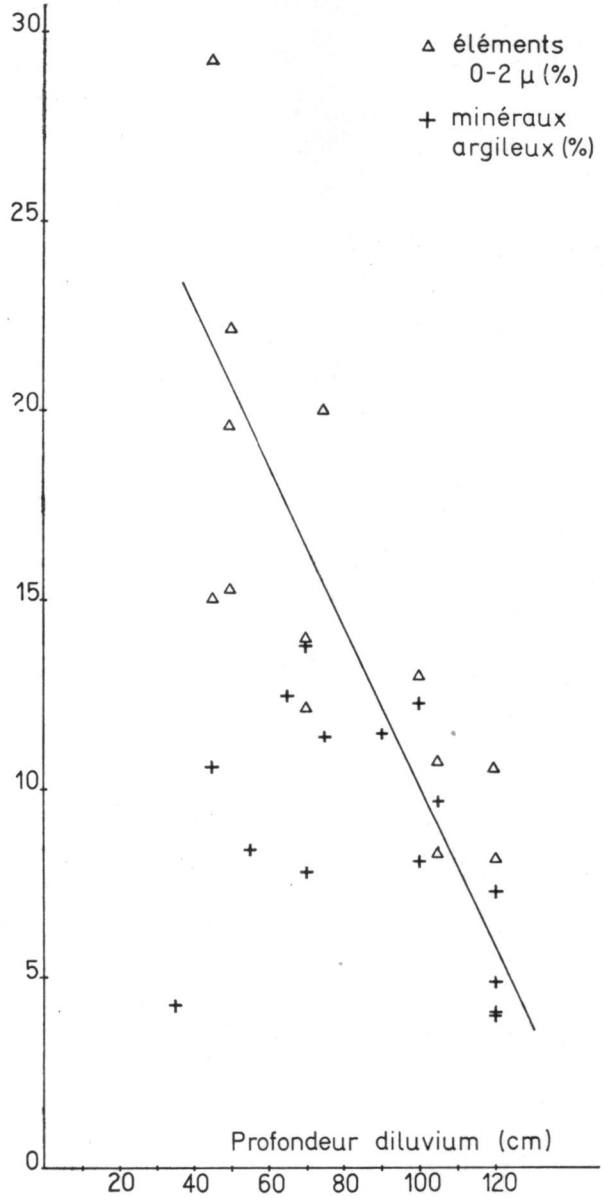


FIG. 4. — Influence de la profondeur d'apparition du diluvium crayeux sur la teneur en éléments fins de l'horizon superficiel.

Il est intéressant de noter que si la faible profondeur du diluvium crayeux n'influence guère la teneur en minéraux argileux proprement dit, elle augmente la fraction 0-2 μ obtenue par analyse sans décalcifica-

tion (fig. 4). La proximité du diluvium crayeux introduit ainsi une surcharge de calcaire fin.

La teneur en calcaire est très variable et si en général les sols sur diluvium sont calcaires, il existe quelques exceptions sans liaison avec la topographie.

Ces sols malgré la grande perméabilité de leurs horizons superficiels présentent fréquemment des phénomènes d'hydromorphie. Cette dernière est due soit à la position topographique, soit à la constitution même du profil. Dans le premier cas, il y a engorgement temporaire en hiver d'une partie du profil pour les sols en bordure des bas-fonds mal drainés. L'hydromorphie de profil provient de la persistance d'une nappe perchée au-dessus d'un horizon argileux ; ceci se traduit alors par un aspect marmorisé et la présence de pseudo-gley.

Le pourcentage en matière organique des horizons de surface des sols finement sableux, cultivés, se situe entre 1,2 et 2 avec une moyenne de 1,6. Pour les sables un peu limoneux cette moyenne est de l'ordre de 2,3, les extrêmes étant 2,0 et 2,8 (1).

b) Les sols a évolution podzolique : Ils constituent deux catégories : les uns sont des podzols typiques avec horizon lessivé caractéristiques, tandis que certains, quoique présentant des horizons humifères superficiels et profonds, ont des horizons lessivés peu nets ou même inexistants. Ils sont décrits dans la deuxième partie du tableau II.

Les podzols typiques ont des teneurs en matières organiques d'horizons superficiels variant entre 8 à 19 p. 100 avec des C/N de 16 à 22. Les horizons d'accumulation d'humus titrent entre 1,6 à 6,3 p. 100 de matière organique.

Les podzols atypiques ont des horizons superficiels contenant de 7,8 à 30 p. 100 de matière organique. Les horizons humifères profonds titrent entre 1,4 et 10, 3 p. 100 de matière organique. Les rapports C/N de ces horizons profonds ne présentent pas de différence nette avec ceux des podzols typiques, comme le montre le tableau suivant :

Podzols typiques	Podzols atypiques
Laon 5 Z 9 : 7,0	Laon 5 W 12 : 12,0 — 14,4
Laon 5 14 : 14,0 — 20,0	Laon 5 W 15 : 17,7 — 23,8
Laon 5 Z 8 : 6,5 — 10,4	Laon 5 U 14 : 17,3
La Fère 8 D 5 : 15,3 — 8,5	La Fère 8 P 24 : 8,5 — 17,9

Par contre pour les horizons superficiels les C/N des podzols atypiques sont nettement plus bas que ceux des podzols typiques :

podzols typiques : 16,8-16,1-22,2-20,6 ;

podzols atypiques : 12,9-9,6-10,6-13,8.

(1) La différence entre les deux moyennes est significative avec 99 p. 100 de chance.

TABLEAU II

Sables fins moyennement limoneux

Profils	Analyses								
Sables fins moyennement limoneux à horizon argileux non calcaire. Sondage Laon 1 A C 6	M.O.	C/N	0 - 2	2 - 20	20-50	50-200	200-2000	CO_3Ca	pH
Champ de betteraves en pente légère									
0 - 30 : brun légèrement grisâtre, glacé en surface. Sable fin limoneux. Calcaire par taches (chaulage)	1.5		10.6	9.8	26.5	49.8	1.8	0	7.5
30 - 90 : brun, sable fin limoneux assez compact			9.2	11.6	27.0	50.3	1.7	0	7.8
90 - 120 : brun rouge argilo-limoneux			30.8	11.8	23.0	33.8	0.9	0	7.7
Sables fins moyennement limoneux, calcaire, homogène sur dilivium grossier. Sondage Laon 1 A B 3									
Champ labouré.									
0 - 35 : brun, sable fin moyennement limoneux, calcaire, humide	1.5		14.7	16.4	29.3	36.9	1.2	3.1	8.0
35 - ... : blanchâtre, dilivium crayeux grossier			19.4	25.9	9.4	17.2	28.1	72.4	
Sable fin moyennement limoneux, homogène, hydromorphe sur dilivium crayeux fin. Sondage La Fère 4 Z 1									
Champ de trèfle.									
0 - 35 : brun gris, sable fin, limoneux un peu calcaire	2.0		17.1	10.6	27.5	42.2	0.6	1.4	7.5
35 - 60 : brun clair, sable fin limoneux calcaire									
60 - 120 : chamois à traînées rouilles nettes, argilo-limoneux, calcaire			25.0	34.7	25.9	12.7	0.9	46.8	8.1
Sable fin limoneux : Sondage La Fère 8 H 1									
0 - 15 . gris finement sableux, limoneux, calcaire	1.6		10.8	19.0	31.0	32.3	5.0	0	
15 - 35 : chamois, finement sableux, limoneux, calcaire			12.4	19.0	41.2	25.1	1.2		
35 - 110 : jaune à taches plus claires, finement sableux, limoneux			23.5	17.5	36.6	20.8	1.1		
110-130 : beige à taches ocre rouille, sablo argileux									
130-140 : jaune, sableux un peu argileux									
140 ... : ocre jaune à rougeâtre, sableux.									

Notons enfin que les pH des podzols typiques se situent entre 3,6 et 6,0, alors que ceux de l'autre catégorie s'échelonnent entre 5 et 7,9.

Souvent les sols à caractères podzoliques peu nets présentent deux horizons humifères en profondeur, séparés par un horizon de sable blanchâtre. Leur localisation topographique est très variable : sommet ou pied de butte boisée, zones planes. Ils sont soit sous prairies provenant de défriches forestières, soit sous forêts.

La présence d'humus en profondeur dans les sols atypiques peut s'interpréter de différentes façons :

— évolution podzolique normale, donnant un sol podzolique humique, morphologiquement analogue à ceux signalés par DUPUIS dans le Gâtinais. Mais cette hypothèse est incompatible avec les faibles C/N des horizons superficiels ;

— accumulation d'humus provenant d'un lessivage oblique. Cette explication n'est valable que pour les sols situés au pied des massifs boisés.

— recouvrement d'un ancien sol par alluvionnement : les horizons humifères profonds seraient alors les horizons superficiels d'un sol ancien. Il faudrait alors prouver que l'humus profond ne provient pas d'un lessivage.

2. — Les sables fins moyennement limoneux.

Ces sols dont la fraction dominante est encore à base de sables fins, sont caractérisés par l'importance de la fraction 2-50 μ. C'est cette dernière qui permet de les différencier des sols précédents. Leurs caractéristiques granulométriques sont les suivantes :

Intervalles	5 fractions			3 fractions		
	minimum	moyenne	maximum	minimum	moyenne	maximum
0 — 2	8,2	13,8	19,2	8,2	13,8	19,2
2 — 20	9,9	12,4	16,8	29,7	37,9	46,4
20 — 50	18,4	24,1	30,4			
50 — 200	37,5	46,5	55,1	38,7	48,7	57,3
200 — 2000	0,6	2,1	4,8			

Nous avons trouvé un profil (La Fère 8 H 1) où la fraction 20-50 μ est dominante, ce qui rapprochait ce sol des limons de la Région Parisienne.

Les descriptions de ces sols sont faites dans le tableau II.

Les profils comportent souvent un horizon plus argileux (30 p. 100 d'éléments 0-2 μ) à la profondeur d'un mètre environ. Ils reposent en

général sur un diluvium fin ou grossier ou plus rarement sur sables siliceux. La partie supérieure du profil est en général peu ou pas calcaire même si le sol repose sur une roche calcaire.

Quelques-uns de ces sols présentent une certaine hydromorphie due à un engorgement temporaire de la partie du profil située au-dessus de l'horizon argileux. Ceci se traduit par des mouchetures à peine visibles ou des taches de rouille.

Ils sont reliés à la topographie du plateau comme le montre le schéma de la figure 5 et ils deviennent plus sableux dans les dépressions ou sur les buttes. Il semble qu'ils proviennent du mélange des sables fins et d'un matériau de dimensions comprises entre 0 et 50 μ, peut-être d'origine éolienne.

La teneur en matière organique des sols de culture varie entre 1,3 et 2,3 p. 100.

3. — Les sols sablo-argileux.

Ils ont une fraction 0-2 μ (minéraux argileux et calcaire fin) supérieure à 20 p. 100, ce qui constitue leur caractéristique essentielle. Ils sont décrits dans le tableau III.

Certains, comme Laon 5 S 9 sont sur un diluvium crayeux et exceptionnellement riches en éléments fins. D'autres, tels Laon 5 K 10 sont liés à la formation géologique argile de Laon. Le sol Laon 1 A C 19 se présente comme un sable fin limoneux particulièrement argileux.

Dans ces sols, les plus lourds de la région ce sont encore les fractions relativement grossières qui dominent : 50-200 μ ou 20-50 μ. Ils ne présentent pas une grande importance au point de vue superficie.

4. — Les sols tourbeux et tourbe.

Cette catégorie comprend les sols à accumulation de matière organique due à l'engorgement par l'eau, ils sont décrits dans le tableau IV.

a) Les sols tourbeux : Ils ont une teneur en matière organique inférieure à 30 p. 100 et une nappe aquatique permanente profonde qui peut remonter pendant l'hiver. L'horizon humifère est superficiel et a une épaisseur inférieure à 40 cm. La partie non organique du profil présente des taches de rouille et de gley, ces dernières étant souvent peu caractéristiques. Le rapport C/N de la matière organique est en général élevé et s'échelonne entre 9,3 et 33.

L'horizon tourbeux peut reposer sur le diluvium crayeux (profil Laon 5 M 9) ou sur un matériau sablo-argileux (sondage Laon 5 Y 5).

b) Les tourbes proprement dites : Ce sont des sols à engorgement permanent ou quasi-permanent de la totalité du profil. L'horizon organique peut s'étendre au-delà d'un mètre. Le plan d'eau ne descend

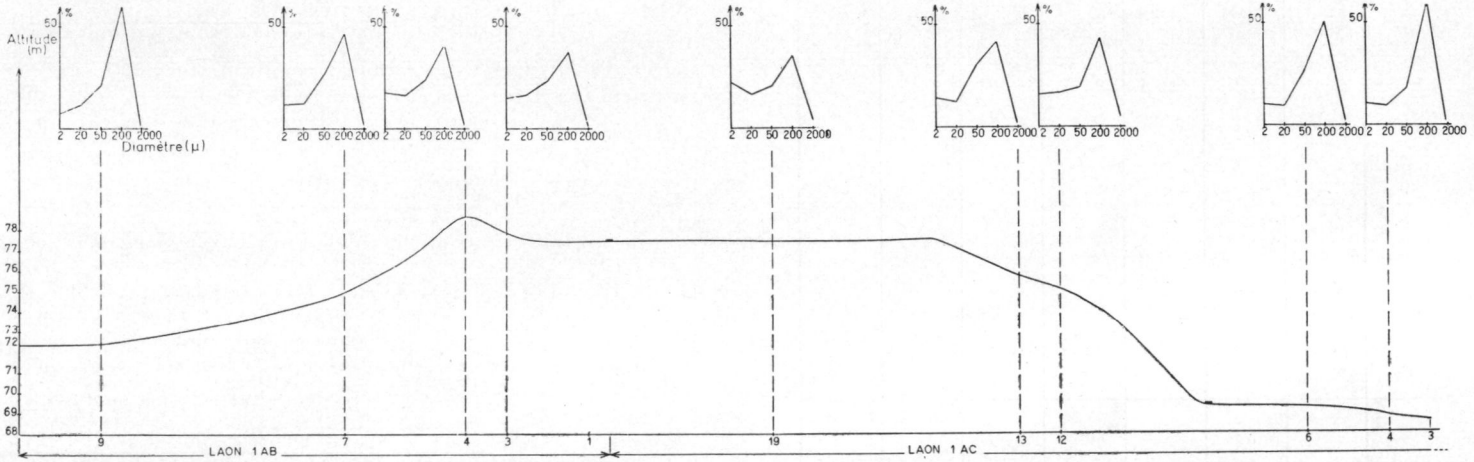


FIG. 5. — Répartition topographique des sables fins moyennement limoneux et sables fins légèrement limoneux.

TABLEAU III

Sables argileux

Profils	M.O.	0-2	2-20	20-50	50-200	200-2000	CO_3Ca	pH
	Analyses							
Sol sablo-argileux, calcaire, sur diluvium. Sondage Laon 5 S 9								
Champ de betteraves								
0 - 30 : gris beige, sablo-argileux, calcaire. Débris de calcaire et de silex en surface	2.8	29.2	8.6	10.5	43.5	5.4	28.0	7.6
30 - 45 : beige, sablo-argileux, calcaire		29.3	14.6	5.0	42.7	8.4	32.4	7.7
45 ... : blanchâtre, morceaux de craie dans élément fin calcaire		30.0	16.5	25.3	18.1	10.1	61.6	8.0
Sol sablo-argileux, calcaire. Sondage Laon 5 K 10								
Zone plane, entre deux haies, près du sommet de la butte de Laon. Friche.								
0 - 15 : brun gris, sablo-argileux, calcaire.	3.9	26.7	10.0	30.6	24.0	4.8	5.1	6.9
15 -120 : brun jaunâtre à grandes taches rouilles et blanchâtres. Sablo-argileux, compact, sec, calcaire par taches.		34.6	19.3	33.0	11.5	1.2	1.1	7.4
Sol sablo-argileux, calcaire. Sondage Laon 1 A C 19								
Zone plane. Prairie permanente								
0 - 50 : brun, sablo-argileux, calcaire. Présence de petits débris calcaires.	2.6	22.0	16.3	19.9	34.3	3.9	6.2	7.7
50 - 100 : chamois, à taches blanches, argilo-sableux		24.2	26.7	12.8	30.2	6.1	58.5	8.1
100-120 : blanchâtre. Dilivium crayeux		22.2	24.1	14.8	23.8	15.2	86.7	8.4

TABLEAU IV

Sols tourbeux et tourbes

Profils	M.O.	C/N	0 - 2	2 - 20	20-50	50-200	200-2000	CO_3Ca	pH
	Analyses								
A/- Sols tourbeux									
Sondage Laon 5 M 9									
Végétation de joncs, ombellifères et légumineuses									
0- 25 : brun gris, humifère, sableux, calcaire. Présence de coquillages calcaires	13.7	23.8	8.35	1.0	4.5	51.5	3.9	21.9	7.6
25 - 40 : gris plus clair, peu humifère, sableux, calcaire			3.4	1.5	6.4	59.3	3.4	16.7	8.1
45 - 55 : gris blanchâtre, sableux, calcaire .			6.1	3.0	2.1	79.7	7.9	3.6	8.5
55 -... : craie à taches jaunes sous forme de cailloux roulés dans matériau sablo-limoneux, calcaire			0.5	1.9	2.4	61.0	4.7	32.6	8.1
D'autres sont constitués d'un matériau sablo-argileux comme									
Sondage Laon 5 Y 5									
Jeunes peupliers. Saules en boules. Joncs et ombellifères. Plan d'eau à 40 cm de la surface début Septembre .									
0 - 20 : brun noir, plastique, humifère, non calcaire	22.2	25.0	15.3	4.3	2.3	53.9	1.9	0	6.8
20 - 50 : gris sablo-argileux, plastique, non calcaire			12.3	3.3	16.4	66.2	0.8	0	7.2
50-110 : ocre, sablo-argileux, avec concrétions ferrugineuses rouille, dures et anguleuses, non calcaire .			11.4	3.3	11.6	71.8	1.9	0	7.3
100-120: vert à taches ocre, sableux, non calcaire			7.3	4.0	5.9	82.5	0.3	0.9	7.7
120 ... : vert à taches ocre, sableux, calcaire .									
B/ - Tourbes									
Sondage Laon 5 M 8									
Population homogène de Phragmites communis. Plan d'eau à 20 cm de la surface, début Août .									
0 - 10 : noir très humifère, matière organique fibreuse, non calcaire	43.4	31.2	21.2	0.1	0.7	28.2	6.3	0	6.6
10 - 60 : matière organique noire, non calcaire	30.8		9.6	5.1	1.0	48.5	4.7	0	7.3
60 ... : craie contenant des racines									
Sondage Laon 5 U 17									
Salix caprices, Phragmites communis et convolvulus. Eau à 40 cm de la surface, fin Août .									
0 - 10 : brun noir, humifère, fibreux, sablo-argileux, calcaire	10.8	15.9	20.3	12.9	14.3	38.6	3.1	12.6	7.8
10 - 30 : brun, sablo-argileux, taches rouilles			22.0	14.4	17.0	41.5	5.1	13.6	7.9
30 - 65 : brun, plus clair			23.7	26.3	19.3	25.2	5.3	10.3	7.8
65 - 75 . noir, humifère fibreux	45.2	12.6	22.0	15.6	0.5	12.0	5.0		6.9
75 ... : sable blanc beige noirâtre, mélangé à de la tourbe									

guère au-dessous de 50 cm en été. Le rapport C/N de la matière organique peut être assez bas (12-14) ou s'élever au-delà de 30. Il est possible que les faibles C/N soient dus à un remaniement de la tourbe par plantation de peupliers ou creusement de fossés. On peut trouver des tourbes enterrées dues à un recouvrement de tourbes anciennes par des alluvions. Ces tourbes sont sous végétation de roseaux (phragmites communis) ou plus rarement de cyperacees (carex stricta et paniculata). Leur structure peut être fibreuse, grumeleuse ou présenter un aspect plastique.

Les teneurs en calcaire des sols tourbeux et tourbe sont extrêmement variables à l'intérieur d'un même profil : sur 70 sols examinés les catégories suivantes ont été distinguées :

sols calcaires en surface seulement : 25 ,7 p. 100 ;

sols calcaires en profondeur seulement : 17,1 p. 100 ;

sols calcaires sur tout le profil : 22,9 p. 100 ;

sols non calcaires : 10 p. 100 ;

sols présentant un horizon non calcaire intercalé entre deux horizons calcaires : 24,3 p. 100.

En considérant seulement les horizons superficiels 72 p. 100 environ des sols présentent une réaction alcaline et 27 p. 100 une réaction acide. Cette réaction alcaline peut être due à la submersion par une eau calcaro-magnésienne.

PROJET DE CLASSIFICATION DES SOLS

L'étude précédente a fait ressortir l'importance de la texture, ce qui conduit à prendre cette dernière comme critère fondamental de classification ; les autres caractères pris en considération seront la teneur en calcaire, la constitution générale du profil (horizon argileux et humifère), la nature et la profondeur d'apparition du diluvium et l'hydromorphie.

Par la suite les profils seront interprétés en se plaçant du point de vue évolutif, ce qui permettra de les placer dans la classification pédogénétique.

Les grandes catégories de sols ayant été définies précédemment, nous allons examiner dans chacune d'elles les caractères permettant les subdivisions.

Sables fins : outre la distinction granulométrique en sables fins et sables fins légèrement limoneux (1), les caractères suivants ont été pris en considération :

— présence et quantité de calcaire dans le profil : on considère la réaction à l'acide chlorhydrique de tout le profil à l'exception du dilu-

(1) Il est possible qu'une étude ultérieure conduise à prendre comme grande catégorie les sables fins et les sables fins légèrement limoneux.

vium crayeux s'il existe et de l'horizon superficiel. L'horizon superficiel a été écarté car il peut être calcaire par suite d'un chaulage. Trois catégories sont retenues : sols non calcaires, sols peu calcaires de 0,5 et 5 p. 100 de CO_3Ca, sols calcaires plus de 5 p. 100 de CO_3Ca.

— existence et épaisseur de l'horizon argileux : le profil peut être homogène ou présenter un horizon argileux d'épaisseur inférieure à 20 cm (pellicule argileuse) ou plus épais (horizon argileux);

— présence d'un horizon humifère : certains sols, en général forestiers ont une accumulation humifère en surface, sans caractère d'évolution net. D'autres présentent en plus un horizon humifère profond ; lorsque l'horizon lessivé est net, ils sont qualifiés de podzols ; lorsque cet horizon est peu net on adopte le terme podzol atypique ;

— présence, nature et profondeur d'apparition du diluvium : la présence ou l'absence de diluvium entre 0 et 120 cm est considérée. On distingue le diluvium fin en général de couleur chamois et le diluvium grossier blanchâtre comportant des éléments graveleux dans un matériau plus fin. Les intervalles d'apparition du diluvium seront les suivants : 0-40 ; 40-80 ; 80-120 cm ;

— hydromorphie : l'hydromorphie considérée ici est celle provenant d'un engorgement temporaire réduit dans le temps et l'étendue du profil. Cet engorgement peut être dû à la présence d'un horizon argileux ou aux conditions topographiques ; dans ce dernier cas le sol est un terme de passage entre les sols sableux et les sols tourbeux.

Sables fins moyennement limoneux : on a retenu les mêmes critères que pour les sables fins.

Sables argileux : les mêmes critères sont considérés à l'exception de la présence d'un horizon argileux, le profil étant homogène.

Sols tourbeux et tourbe : les distinctions se font en examinant les facteurs suivants : — caractères de l'horizon supérieur organique : dans les sols tourbeux la fraction minérale est encore nettement visible en surface. L'accumulation organique ne dépasse pas 40 cm d'épaisseur. Dans les tourbes la fraction organique masque presque complètement la fraction minérale et l'accumulation organique peut atteindre plus de 120 cm. On distingue alors les accumulations sur les profondeurs 0-40, 0-80, 0-120 cm ;

— présence de calcaire : des considérations de mise en valeur éventuelle conduisent à ne considérer que les horizons supérieurs ;

— nature de la partie non organique du profil : il peut être sableux homogène ou sableux à horizon sablo-argileux ou crayeux ; enfin il peut y avoir superpositions de matériaux différents par alluvionnement, le profil est alors qualifié de complexe.

La classification complète est donnée dans le tableau V.

TABLEAU V

1°) - Sables fins et sables fins légèrement limoneux

Sable fin	calcaire	homogène	sur diluvium	fin	0 - 40	sain
					40 - 80	hydromorphe
					80 - 120	-d°-
				grossier	-d°-	
			sur sable			sain
						hydromorphe
		à pellicule argileuse	-d°-			
		à horizon argileux	-d°-			
	peu calcaire	homogène	sur diluvium	fin	0 - 40	sain
					40 - 80	hydromorphe
					80 - 120	
				grossier	-d°-	
			sur sable			
		à pellicule argileuse	-d°-			
		à horizon argileux	-d°-			
		homogène	sur diluvium	fin	0 - 40	sain
					40 - 80	hydromorphe
				grossier	80 - 120	
			sur sable			
		à horizon argileux plus ou moins épais	sur diluvium	-d°-		
			sur sable	-d°-		
	non calcaire	à horizon humifère	en surface	sur diluvium		-d°-
				sur sable		-d°-
			en surface et profondeur	podzol atypique		
				podzol typique		
		à horizon humifère superficiel et horizon argileux	sur diluvium	fin		-d°-
				grossier		-d°-
			sur sable			
Sable fin peu limoneux	calcaire	-d°-				
	peu calcaire	-d°-				
	non calcaire	-d°-				

2°) - Sables moyennement limoneux

	calcaire	homogène	sur diluvium	fin	0 - 40	sain
					40 - 80	hydromorphe
					80 - 120	
				grossier		
			sur sable			sain
						hydromorphe
		avec pellicule argileuse	-d°-			
		avec horizon argileux	-d°-			
	peu calcaire	homogène	-d°-			
		avec pellicule argileuse	-d°-			
		avec horizon argileux	-d°-			
	non calcaire	homogène	-d°-			
		avec pellicule argileuse	-d°-			
		avec horizon argileux	-d°-			

TABLEAU V (fin)

3°) - Sables argileux

calcaire	sur diluvium	fin	0 - 40	sain	
			40 - 80	hydromorphe	
			80 - 120		
		grossier			
	sur sable			sain	
				hydromorphe	
peu calcaire	sur diluvium		-d°-		
	sur sable		-d°-		
non calcaire	sur diluvium		-d°-		
	sur sable		-d°-		

4°) - Sols tourbeux et tourbes

Sol tourbeux à nappe permanente profonde (teneur en matières organiques entre 10 et 30 %)	calcaire en surface	profil non organique	sableux, homogène	
			sableux à horizon argileux	
			crayeux	
			complexe	
	non calcaire en surface	profil non organique	sableux, homogène	
			sableux à horizon argileux	
			crayeux	
			complexe	
Tourbe à engorgement total et permanent (teneur en matières organiques à 30 %)	épaisseur de tourbe 0 - 40 / 0 - 80 / 0 - 120	calcaire en surface	profil non organique	sableux, homogène
				sableux à horizon argileux
				crayeux
				complexe
		non calcaire en surface	-d°-	

La correspondance avec la classification pédogénétique est indiquée ci-dessous, en regroupant les sols précédemment définis par séries évolutives.

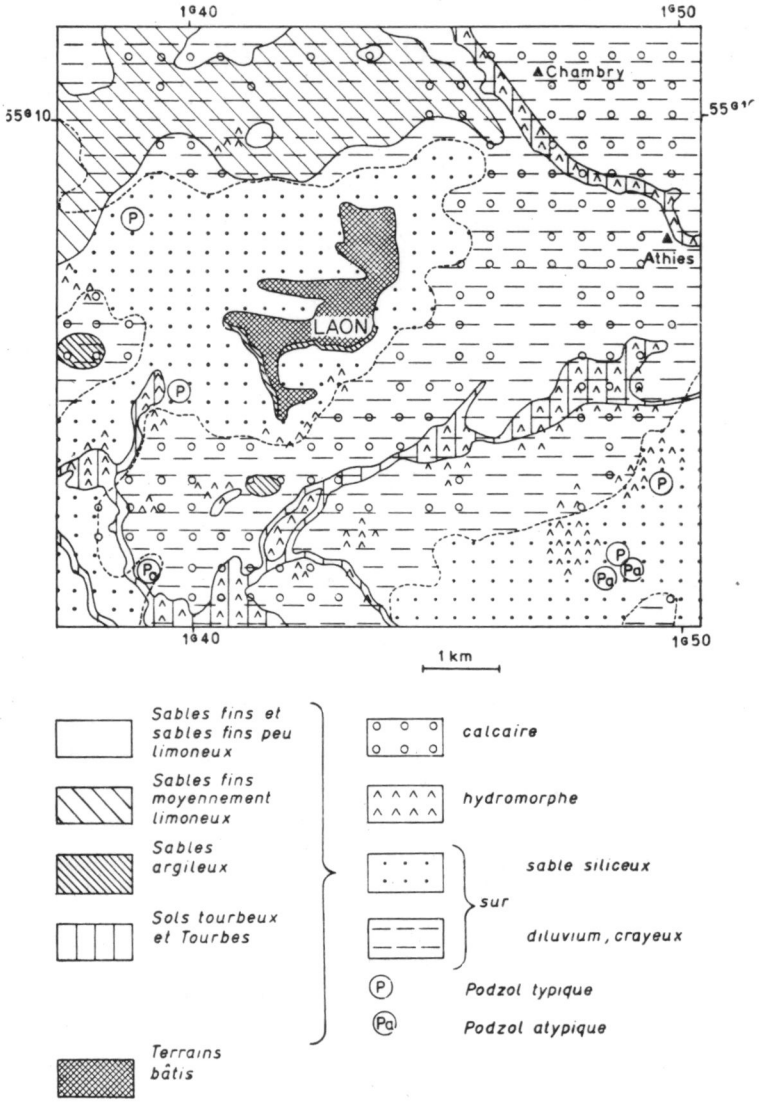
Podzols et sols podzoliques : Les sables fins et sables fins légèrement limoneux non calcaires à horizon humifère en surface et profondeur, avec un horizon lessivé net sont des podzols typiques. Beaucoup sont des podzols à gley.

Dans la catégorie des sables fins et sables fins légèrement limoneux, les sols à horizons argileux et accumulation organique superficielle importante peuvent être classés dans les sols bruns podzoliques.

Les sols qualifiés de podzols atypiques ne peuvent être classés dans cette série, car quoique ayant un horizon humifère superficiel et un horizon humifère profond ils n'ont pas d'horizons lessivés et ont de plus un C/N de surface très bas.

Sols lessivés : Dans cette série se classent les sables fins et les sables fins légèrement limoneux non calcaires à horizons argileux. Ceci est valable sous réserve que l'existence d'un horizon argileux soit la consé-

quence d'une accumulation. Cette hypothèse est difficilement admissible dans le cas assez fréquent où l'horizon plus argileux est très épais et comporte une teneur en argile dix fois supérieure à celle de l'horizon super-



ficiel ; l'horizon argileux proviendrait alors plutôt d'une hétérogénéité initiale de la roche-mère que d'une évolution.

Sols bruns et sols bruns légérement lessivés : Sont regroupés dans cette série les sols non calcaires à profil homogène.

Rendzines : Les sols bruns calcaires sont les sols calcaires à profil homogène des groupes sables fins, sables fins peu limoneux, sables fins

moyennement limoneux et sables argileux. Lorsque ces sols présentent un horizon argileux ils peuvent être considérés comme des sols bruns calcaires dégradés.

Sols hydromorphes organiques : Ce sont les tourbes que l'on peut qualifier de mésotrophiques à cause de leur réaction alcaline.

Sols tourbeux : Ce sont les sols hydromorphes humifères à gley.

a/ - Diluvium fin

Identification	Eléments 2 m/m	Analyse	0/2	2/20	20/50	50/200	200/2000	CO_3Ca	pH
Laon 5 D 1	0	KCl	9.6	13.0	17.2	57.5	2.7	61.0	8.5
Laon 5 I 3	0	KCl	11.3	29.1	12.5	42.0	5.1	42.9	8.1
La Fère 4 Z 1	0	KCl	23.9	33.0	30.1	12.2	0.8	46.8	8.1

b/ - Diluvium grossier

Laon 5 M 1	12	KCl	15.7	19.8	6.8	48.5	8.1	40.8	8.1
Laon 5 M 9	9.4	KCl	11.7	13.3	8.1	60.3	6.6		8.1
		HCl	0.5	1.9	2.4	61.0	4.7	32.6	
Laon 5 M 11	12.2	KCl	23.0	19.8	1.2	47.3	8.7		
		HCl	5.3	11.2	1.4	34.4	2.2	55.0	8.5
Laon 5 M 14	8.5	KCl	19.7	11.7	16.6	40.2	11.8		
		HCl	1.4	3.1	2.5	38.7	3.2	58.0	8.4
Laon 5 M 13		KCl	19.3	24.1	8.0	35.0	13.6		
		HCl	2.9	1.1	3.3	31.4	2.1	60.5	8.4
Laon 5 M 20	15.6	KCl	17.2	18.0	5.5	47.2	12.1		
		HCl	1.3	1.9	1.6	45.6	4.1	47.7	8.6
Laon 5 M 24	44.1	KCl	23.7	26.1	14.3	9.8	26.1		
		HCl	3.7	3.0	3.6	5.7	0.4	82.9	8 3
Laon 5 M 33		HCl	11.2	3.3	2.3	24.5	1.2	57.0	
Laon 5 4	18.9	KCl	18.1	29.3	6.5	30.8	13.5		
		HCl	2.4	1.6	4.0	25.0	2.1	61.3	8.3
Laon 5 5	24.7	KCl	8.4	7.2	3.5	62.4	14.5		
		HCl	0.8	0.8	4.8	58.8	5.3	29.5	7.7
Laon 5 D 10		KCl	11.3	11.3	23.7	51.9	1.8	60.8	8.2
Laon 5 I 2		KCl	22.5	28.2	15.0	28.2	6.1	52.5	8.1
Laon 5 N 8		KCl	27.8	16.3	11.8	27.8	16.3	44.8	8.4
Laon 1 AB 18		KCl	13.7	20.9	15.0	36.1	14.3	48.0	
Laon 1 AC 19		KCl	22.5	24.1	14.8	23.4	15.2	86.7	8.4
Laon 5 S 9		KCl	30.0	16.5	25.3	18.1	10.1	61.6	8.0
Laon 1 AB 3		KCl	19.4	25.9	9.4	17.2	28.1	72.4	

CONCLUSION

Les sols du Laonnois ont une texture essentiellement sableuse et c'est l'examen des fractions granulométriques inférieures à 50 μ qui permet de distinguer de grandes catégories dans cet ensemble :

— les sols finement sableux (moins de 10 p. 100 de particules inférieures à 2 μ) et finement sableux peu limoneux (entre 10 et 20 p. 100 de particules 0-2 μ) peuvent être calcaires. Dans ce cas, quoique la teneur

en minéraux argileux soit faible, le calcaire fin joue un rôle important pour la rétention de l'eau et les propriétés mécaniques ;

— les sols finement sableux moyennement limoneux, caractérisés par une fraction 20-50 μ importante sont pour la plupart peu ou pas calcaires. Ce sont les meilleurs sols de culture de la région ;

— les sables argileux ayant plus de 20 p. 100 d'éléments 0-2 μ sont calcaires en majorité ;

— pour les sols tourbeux et tourbes l'horizon superficiel humifère devient l'élément important. La teneur en calcaire est très variable sur le même profil.

La répartition de ces sols est donnée sur la carte de reconnaissance au 1/50000e. Les sols finement sableux et finement sableux peu limoneux couvrent presque complètement toute la région, à l'exception du nord et du nord-ouest. C'est dans ces deux zones que sont les sables fins moyennement limoneux, qui traduisent l'influence de la plaine Picarde ; ils semblent correspondre à un relief de plateau. Les sols sablo-argileux existent par petites taches à l'intérieur des ensembles précédents. Enfin, les sols tourbeux et tourbes jalonnent les axes des dépressions mal drainées de la région sud.

A la distribution relativement simple de ces ensembles s'oppose l'hétérogénéité de répartition à l'intérieur de chaque série des caractères secondaires de la classification :

— dans la série finement sableuse les types finement sableux et finement sableux peu limoneux sont disposés en mosaïque, sans que l'on puisse donner de règles générales de répartition ; cependant, les buttes sont plus sableuses et souvent non calcaires ;

— pour les sables fins moyennement limoneux c'est la nature et la profondeur du substratum qui est variable : sable, diluvium fin ou grossier ;

— la réaction des tourbes est assez variable d'un point à un autre, mais c'est la nature du sous-sol qui est très différente, vraisemblablement à cause de l'alluvionnement.

REMARQUES PARTICULIÈRES

1° Comparaison des teneurs en matière organique des sols.

Le tableau suivant indique les teneurs en matière organique, maxima minima et moyennes des sols trouvés lors de la prospection sous culture, prairie temporaire et prairie permanente.

Les teneurs en matière organique des prairies permanentes sont supérieures à celles des sols cultivés ; par contre, les teneurs des prairies temporaires ne sont que peu ou pas augmentées, car elles participent normalement à la rotation.

Sols	Sables fins			Sables fins peu limoneux			Sables fins moyennement limoneux			Sables argileux		
	min.	moy.	max.	min.	moy.	max.	min.	moy.	max	min.	moy.	max.
Culture ...	1,2	*1,6*	2,2	2,0	*2,3*	2,8	1,3	*1,8*	2,3	1,7	*2,4*	2,8
Prairie permanente	1,7	*4,1*	5,7	3,3	*5,1*	6,8						
Prairie temporaire..	1,5	2,4	3,9				1,8	1,9	2,2			

Pour les sols cultivés, la teneur moyenne des sables fins un peu limoneux est supérieure à celle des sables fins (1) et à celle des sables fins moyennement limoneux ; les sols argileux ont la teneur la plus importante (2). Ainsi on constate qu'à certains types granulométriques correspondent des teneurs caractéristiques en matière organique, ce qui justifie la classification basée sur la granulométrie.

2° Remarque sur la granulométrie du diluvium.

Les résultats des analyses granulométriques effectuées sur la fraction fine du dilvuium sont reproduits dans le tableau ci-contre. Il a été distingué le diluvium fin de couleur chamois ou chamois à taches blanches et le diluvium grossier blanchâtre ou blanc.

Les teneurs en éléments grossiers supérieures à 2 mm sont sûrement inférieures aux valeurs réelles à cause du broyage dû à la pénétration de la sonde et d'une désagrégation qui a pu se produire lors de la préparation des échantillons.

Pour certains échantillons ont été effectuées à la fois les analyses avec et sans décalcification. Les analyses avec décalcification mettent en évidence une fraction non calcaire importante dans le diluvium. L'étude de cette fraction non calcaire montre une faible teneur en argile et une fraction 50-200 μ dominante ; si l'on calcule les différentes fractions granulométriques en p. 100 de la fraction non calcaire, c'est-à-dire si l'on multiplie les résultats de la granulométrie à ClH par $\frac{100}{100 - \% \, CO^3Ca}$ on constate que la répartition des fractions granulométriques non calcaires est analogue à celle des sables fins de la région (fig. 6). Le diluvium apparaît alors comme un mélange de sables non calcaires de Guise ou de Bracheux et de produits de désagrégation d'une roche calcaire, vraisemblablement la craie sous-jacente. L'apport calcaire joue essentiellement pour la fraction la plus fine et accessoirement pour les autres. Notons que les sables fins calcaires sont en très faible quantité.

(1) Différence significative avec 99 p. 100 de chance.
(2) La moyenne des sables argileux est supérieure à celle des sables fins avec 99 p. 100 de chances.

Enfin, constatons que quelques échantillons (La Fère 4 Z 1, Laon 5 M 24, Laon 5 S 9, Laon A B 3) présentent une granulométrie différente des autres ; ceci nécessiterait une étude plus détaillée.

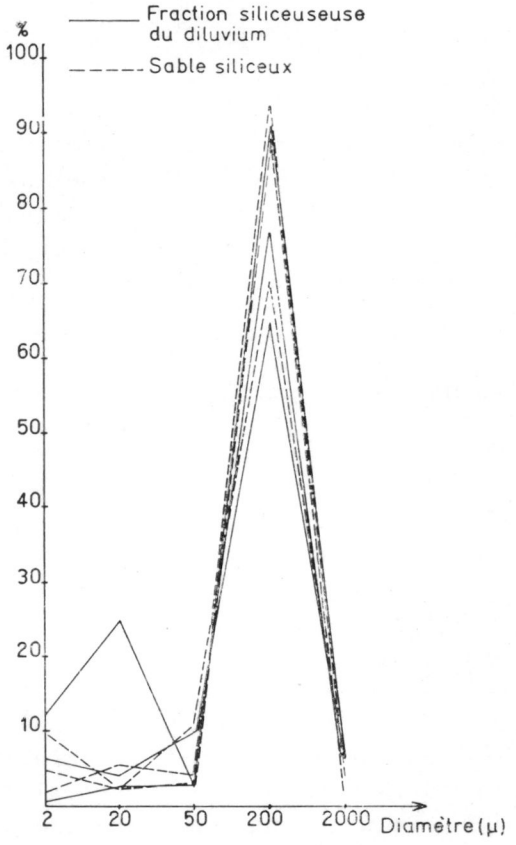


FIG. 6. — Granulométrie des fractions siliceuses du diluvium et des sables fins.

3° **Représentation de la granulométrie sur un diagramme triangulaire.**

Sur un diagramme triangulaire (fig. 7) sont portées les fractions suivantes des horizons superficiels :

0-2 μ ;
2-50 μ ;
50-2000 μ.

Les granulométries représentées proviennent des analyses sans décalcification ou d'analyses avec décalcification lorsque la teneur en calcaire est inférieure à 5 p. 100.

Les points représentatifs des sols finement sableux, finement sableux peu limoneux et finement sableux moyennement limoneux sont groupés autour du segment de droite AB.

Les sables argileux sont par contre beaucoup plus dispersés au-dessus de cet axe.

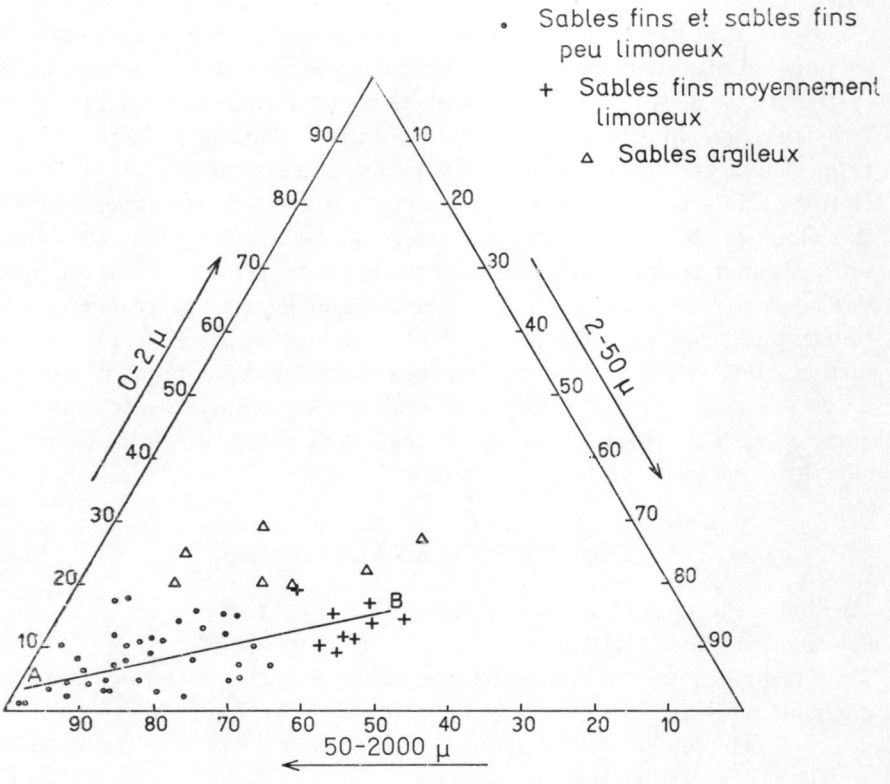


FIG. 7. — Diagramme triangulaire de la texture des horizons supérieurs.

4° Quadrillage systématique en vue de l'établissement d'une minute au 1/5000e

La dernière phase du travail sur le terrain est l'établissement d'une minute au 1/5000e de la carte des sols, à partir de laquelle sera dessinée la carte au 1/20000e. Elle consiste à déterminer les limites de sols en effectuant des sondages tous les 100 mètres, soit un sondage à l'hectare. Ce travail a été réalisé à titre expérimental sur une petite superficie.

La précision de localisation d'un point de sondage sur la carte dépend de la précision du document topographique et de celle de la mesure des distances par le prospecteur :

— l'utilisation des photographies aériennes I. G. N. agrandies au 1/5000e fournit une précision suffisante en région plane. Le calcul de

l'échelle réelle d'un de ces clichés à partir de la carte topographique au 1/20 000e a donné les valeurs suivantes : $\frac{1}{4.920}$, $\frac{1}{4.950}$, $\frac{1}{5.120}$. On fait ainsi sur une distance de 100 mètres une erreur absolue de 1 à 2,4 m, ce qui revient à localiser le point de sondage dans un carré de 2 à 4,8 m de côté, ceci évidemment dans le cas d'une topographie plane ;

— ce sont des distances mesurées au pas que proviennent les erreurs les plus importantes, car elles sont cumulatives : en effet, avec une erreur systématique de 5 m sur 100 m seulement, on a une erreur de 25 m sur la localisation du 5e sondage. Ce fait confirme l'intérêt du repérage par rapport aux accidents naturels, aux arbres, aux limites de champs et aux clôtures. Mais il arrive que pour les champs étendus ces repères soient très éloignés ; la position des sondages est alors erronée. On a alors intérêt à dessiner un quadrillage régulier sur la photographie servant aux relevés ; ceci permet aux prospecteurs de corriger les erreurs grossières systématiques ; par exemple le prospecteur ayant apprécié à 420 m une distance réelle de 400 m entre 2 repères, il sait qu'il a commis une erreur de 20 m sur 400 m, soit 5 m par 100 m ; par conséquent l'intervalle réel entre 2 sondages est de 95 m, ce qui permet de situer avec plus de précision les sondages sur la photographie.

TECHNIQUES ANALYTIQUES

Carbone : méthode ANNE au bichromate à 8 p. 1000.
Azote : méthode KJELDAHL.
Matière organique : — faible teneur, calcul à partir du pourcentage de carbone multiplié par 2.

— forte teneur, perte au feu et correction d'eau des argiles et de CO_2 des carbonates.

Calcul du rapport C/N : dans le cas des pertes au feu on obtient une évaluation de ce rapport en divisant la teneur en matière organique par le double de la teneur en azote. Les chiffres ainsi calculés n'ont qu'une valeur indicative.
Granulométrie : destruction de la matière organique par l'eau oxygénée. Technique avec décalcification à ClH ou sans décalcification à ClK.

Dispersion par le citrate de soude à ébullition.

Mesure des pourcentages des fractions 0-2 μ, 2-20 μ, 20-50 μ par densimétrie.

Mesure des fractions 50-200 μ et 200-2 000 μ par tamisage.

Carbonate : calcimètre BERNARD.
Humidité, séchage à l'étuve à 105°C.
pH : mesure au pHmètre électrométrique.

Les résultats sont exprimés en p. 100 de terre fine, séchée à 105°C.

RÉSUMÉ

Dans la région de Laon, sur des zones géologiques secondaires, tertiaires et quaternaires, avec un climat presque continental les tendances de la pedogénèse sont la podzolisation et le lessivage selon la constitution de la rochemère.

Une classification granulométrique des sols permet de distinguer les sols finement sableux, les sols finement sableux moyennement limoneux, les sables argileux et les sols tourbeux.

La répartition relativement simple de ces groupes de sols est donnée sur une carte au 1/50 000e ; à l'intérieur de ces grands groupes, les caractères secondaires tels que différences granulométriques, calcaire sont distribués sans règles précises.

SUMMARY

Contribution to the srudy of soils in the Laon region

In the Laon region, with Secondary, Tertiary and Quaternary geological zones and with an almost Continental climate, the trend of soil formation is towards podzolization and leaching according to the nature of the parent rock.

A granulometric classification divides the soils into fine sands, slightly loamy fine sands, clayey sands and peats.

This relatively simple distribution of soils is shown on a map of 1 : 50 000 scale ; within these major groups, secondary characteristics such as differences in particle size and limestone do not follow precise rules.

К изучению почв области Лаона.

Р. ГРА.
Почвенная Лаборатория. Версаль.

РЕЗЮМЕ

В области Лаона, на вторичных, третичных и четверичных геологических участках, с почти континентальным климатом, основными тенденциями почвообразования являются в зависимости от материнской породы, подзолообразование и вымывание.

Классификация почв по механическому составу позволяет различить мелко песчаные почвы, пылевато-песчаные почвы, песчано-глинистые почвы и торфяные почвы.

Это сравнительно простое распределение почв обозначено на карте в масштабе 1/50.000. Внутри этих крупных подразделений второстепенные свойства, напр. в механическом составе или количестве извести, распределены без точных правил.

ZUSAMMENFASSUNG

Beitrag zur Untesuchung der Böden der Laongegend

In der Gegend von Laon, auf geologischen Zonen der sekundär, tertiär und quaternär Zeiten, mit einem fast kontinentalen Klima, stellen je nach dem Muttergesteine die Podsolierung und die Auswaschung die Richtungen der Bodenbildung dar.

Durch eine mechanische Klassifizierung der Böden ist es möglich feinsandige-, feinsandige mittelmässiglehmige Böden, tonige Sande und Moorböden zu unterscheiden.

Die verhältnismassig einfache Verteilung dieser Bodengruppen wird in einer Karte im Massstab 1/50 000 wiedergegeben; in diesen Hauptgruppen werden die sekundären Merkmale wie mechanische Unterschieden, Kalk ohne genaue Regeln verteilt.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AUBERT (G.). — Cours de Pédologie Générale.

HENIN (S.) et TERNISIEN (J.). — Sur une relation entre la pluviosité, le drainage et l'évaporation. *C. R. Ac. Sc.*, **219**, p. 80-82.

DUCHAUFOUR (P.). — Pédologie — Applications forestières et agricoles — École Nationale des Eaux et Forêts, Nancy, 1956.

OUDIN (A.), AUBERT (G.) et Coll. — Notice jointe à la carte des sols de France au 1/1 000 000e.

AUBERT (G.) et DUCHAUFOUR (P.). — Projet de classification des sols. C. R. du 6e Congrès International de la Science du Sol, Paris 1956.

DUPUIS (J.). — Contribution à l'étude des sols du Gâtinais. *An. de l'Institut National Agronomique.*

FROMONT (P.). — Recherches sur la flore, le développement des végétaux et leur groupement dans les Vallées du Laonnois et du Vermandois, 1953

D'ARCHIAC. — Descriptions géologiques du département de l'Aisne. Mémoire de la Société Géologique de France.

CAILLEUX (A.) et TAYLOR (G.). — Cryopédologie. Hermann éditeur. Carte géologique de France au 1/80 000e : feuilles 22 et 23.

ÉTUDE PÉDOLOGIQUE AU 1/50 000 DE LA COSTIÈRE DU GARD ET DE LA VISTRENQUE

PAR

J. R. DESAUNETTES et J. VIGNERON

Compagnie nationale d'Aménagement du Bas-Rhône et du Languedoc.

PLAN DU MÉMOIRE

Préambule.

PREMIÈRE PARTIE

GÉNÉRALITÉS

A. — Morphologie et Climatologie.
B. — Géologie.
C. — Pédogénèse.

DEUXIÈME PARTIE

DESCRIPTION DES TYPES DE SOLS OBSERVÉS

A. — Classement régional.
B. — Description.
C. — Intégration dans la Classification Internationale.

CONCLUSIONS

Aperçus sur la Mise en Valeur de ces sols.
A. — Technique et mode d'irrigation. Drainage.
B. — Cultures.

BIBLIOGRAPHIE

PRÉAMBULE

L'étude des caractéristiques hydrodynamiques et pédologiques du secteur d'irrigation des Costières-Vistrenque (33 000 ha) a été entreprise par la Compagnie Nationale d'Aménagement de la Région du Bas-Rhône et du Languedoc.

Elle a donné lieu à 3 catégories de cartes : caractéristiques hydrodynamiques, caractéristiques pédologiques et mise en valeur, dressées à partir d'une prospection de surface et d'un maillage (irrégulier) de tranchées d'observations d'une densité de 1 pour 20 hectares.

Le but poursuivi étant essentiellement pratique, nous n'avons pu disposer de tous les moyens nécessaires à la caractérisation exacte des types de sols, particulièrement en ce qui concerne les sols très évolués qui résultent le plus souvent d'une succession de cycles pédogénétiques. Néanmoins, partant des travaux remarquables de M. MARCELIN, nous avons essayé de faire cadrer les types locaux avec la classification d'AUBERT-DUCHAUFOUR [1] présentée au Congrès de l'A. I. S. S. en 1956 avec quelques légères modifications concernant les sols hydromorphes et les sols jeunes.

La légende employée pour la carte pédologique est celle utilisée par l'ORSTOM ; elle se compose d'une teinte de fond correspondant au type de sol et de signes représentant la nature de la roche mère auxquels nous avons ajouté quelques signes pour les besoins spéciaux de la géologie régionale.

La région étant en grosse majorité recouverte de sols superposés comme nous le verrons ultérieurement, nous avons été obligés de les représenter par des bandes horizontales, la bande la plus large représentant le sol superficiel.

Enfin comme la complexité de la répartition pédologique est quelquefois très grande, interdisant une représentation lisible à l'échelle du 1/50000, il a parfois été nécessaire de créer des complexes de sol où chaque type est figuré par une bande oblique [2].

Dans l'étude présente nous exposerons successivement les facteurs de la climatologie régionale, la géologie très particulière de cette zone, la pédogénèse telle que nous la concevons et enfin nous décrirons rapidement les divers sols de la région intéressée, en indiquant dans quels groupes, tribus, familles et variétés on peut les classer, et en fournissant l'équivalence entre les types locaux tels qu'ils ont été décrits par M. MAR-

[1] M. AUBERT a bien voulu nous aider et nous guider pour la caractérisation des sols et leur classement.

[2] Cette carte pédologique est disponible au Service Etude des Sols de la Compagnie Nationale d'Aménagement de la Région du Bas-Rhône et du Languedoc. (6 Bd Sergent Triaire, Nîmes.)

CELIN, en particulier, et les différentes divisions de la classification internationale.

Dans un dernier chapître, qui servira de conclusion, il sera intéressant d'exposer brièvement les possibilités de mise en valeur de ces sols.

PREMIÈRE PARTIE

GÉNÉRALITÉS

A. — MORPHOLOGIE ET CLIMATOLOGIE

La superficie étudiée correspond à une grande partie de la région naturelle des « Costières du Gard » et de la « Vistrenque » ou vallée du Vistre :

— La Costière est un plateau sub-horizontal et surélevé, séparé de la Vistrenque par une rupture de pente Sud-Ouest-Nord-Est, limité à l'Est par le relief escarpé au-dessus du Gardon, dominant au Sud la Camargue par un décrochement Sud-Ouest - Nord-Est au-dessus de Beaucaire, Bellegarde, Saint-Gilles, et s'arrêtant à l'Ouest dans un moutonnement de « puechs » qui sont des collines sablonneuses.

— La Vistrenque, coincée entre la Garrigue Nîmoise et la Costière, est un effondrement qui ne présente aucun des caractères d'une vallée normale, mais plutôt celle d'une cuvette d'origine sinon karstique, du moins tectonique.

Quoi qu'il en soit, géologie et morphologie concourent à former de ces deux régions naturelles deux entités remarquables.

Le climat, qui est en principe le même sur la Costière que dans toute la région du Bas-Rhône, bénéficie pourtant du relief accusé et de l'exposition favorable ; cependant le manque de postes météorologiques nous oblige à prendre pour référence les seules observations du poste de Courbessac.

Les moyennes portant sur les 40 dernières années sont les suivantes :

Pluviométrie annuelle : 691 m/m.

Température moyenne annuelle : 14°3.

Moyenne des maxima du mois le plus chaud : 30°3.

Moyenne des minima du mois le plus froid : 1°9.

Ces moyennes permettent d'établir un indice d'aridité de de Martonne de 29,5 et un indice d'Emberger de 83,5 situant la région dans un « climat méditerranéen sub-humide à hiver chaud et à sècheresse estivale accusée ». Il n'en reste pas moins que pendant une bonne partie de l'année, des pluies importantes à allure orageuse (200 m/m du 26 au 30 septembre 1933) favorisent les phénomènes de lessivage, malgré un ruissellement

important, alors que pendant l'été, la sècheresse et le soleil produisent d'abondantes remontées capillaires.

De fortes gelées tardives peuvent sévir jusqu'au début du mois de mai ; elles ont une importance primordiale par les répercussions économiques qu'elles engendrent, pouvant gâcher tout ou partie des récoltes viticoles ou fruitières. Ces gelées sont très heureusement atténuées sur le plateau des Costières, grâce à son relief, alors que les dépressions, où l'air froid stagne, sont durement touchées ; c'est ainsi qu'en février 1956, la vigne n'a pas gelé sur la Costière, tandis que grand nombre d'oliviers des zones basses du Piedmont de la Garrigue, ainsi que certains vignobles « de la plaine » l'ont été.

B. — GÉOLOGIE

La Costière-Vistrenque forme une unité géologique bien caractérisée qui s'est individualisée vers la fin de la phase de subsidence du Bas-Rhône, c'est-à-dire vers le quaternaire ancien. A ce moment s'est crée le horst de la Costière, le massif des Angles, le graben de la Vistrenque et le fossé de l'ancien étang de Pugeaut dont l'affaissement se poursuit au quaternaire récent.

L'histoire géologique en est la suivante :

La mer pliocène baignait toute la région jusqu'au pied des garrigues crétacées (calcaire hauterivien en particulier) en déposant deux sortes de sédiments : les marnes plaisanciennes et les sables astiens. Ces deux formations ne sont pas des étages, mais plutôt des faciès qui s'imbriquent dans le plan vertical à cause d'une succession chronologique des deux dépôts différents mais avec cependant prédominance de l'Astien vers le haut.

Puis la mer pliocène s'est retirée laissant à un grand fleuve anastomosé le soin de recouvrir le pays du diluvium alpin, masse énorme de cailloutis rhodanien contenant principalement des galets de quartzite alpin et de quartz cévenol, et, en plus faible proportion, de calcaires, de roches éruptives, (granites, granulites, basalte, variolite) de jaspes et silex, de roches métamorphiques (schistes quartzeux, sériciteux ou micacés, gneiss, etc.).

M. MARCELIN distingue 4 cailloutis :

— le cailloutis gris inférieur contenant des éléments calcaires et quelques galets de roches diverses citées ci-dessus, emballés dans une matrice sableuse et calcaire,

— le cailloutis gris consolidé par le calcaire, formant une espèce de poudingue,

— le cailloutis supérieur, rouge en général, ne contenant plus d'éléments calcaires, mais des chailles et des galets très altérés de grès pourri,

de roches granitoïdes difficilement reconnaissables, le tout emballé dans une matrice argileuse rouge et non calcaire : le gapan,

— le cailloutis blond supérieur provenant du lessivage du cailloutis rouge.

Une étude récente de SCHWOBTALER et VOGT distingue deux nappes caillouteuses :

— l'une, villafranchienne préglaciaire, caractérisée par des lits et des lentilles nettes de sable ou d'éléments gravillonnaires triés, typiques d'une sédimentation détritique, ainsi qu'on peut le voir dans la tranche du canal à Saint-Gilles ; les éléments en sont peu altérés,

— l'autre, fluvio-glaciaire, caractérisée par des émoussés et des éléments plus grossiers dans l'ensemble, des galets éclatés par le gel, d'âge vraisemblablement Mindel ; l'altération rouge qui la surmonte serait liée aux conditions climatiques de l'interglaciaire Mindel-Riss.

Le paroxysme tectonique de cette époque a soustrait auparavant la région aux épandages rhodaniens en soulevant l'ensemble en un horst attesté par le réseau de failles qui ceinture l'ensemble ; à la faveur de ce soulèvement sont apparus les deux faciès Astien et Plaisancien qui servent de substratum à la Costière. On peut les voir sur la bordure Sud et à l'Ouest du Secteur où les mouvements tectoniques continués par l'érosion ont dégagé les « puechs « qui en sont entièrement constitués.

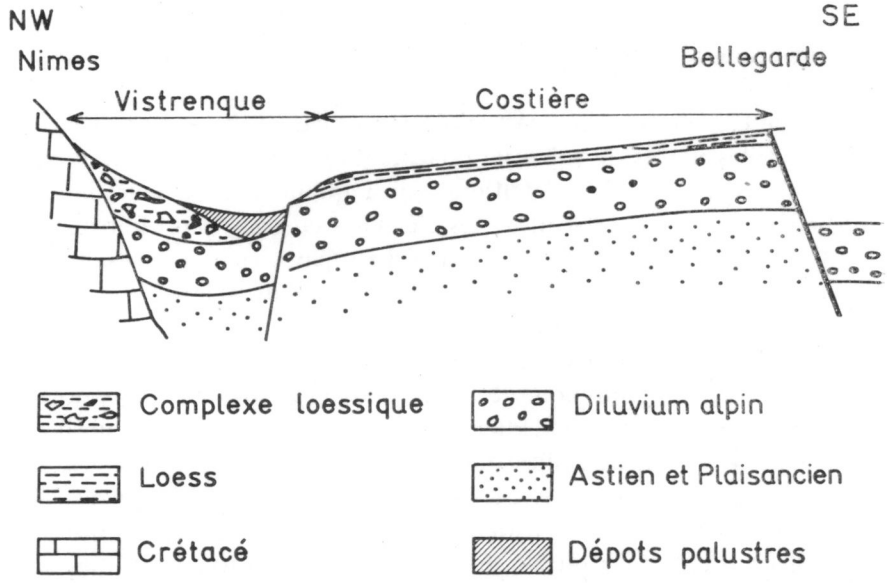
Le cailloutis altéré a ensuite été recouvert d'un manteau de lœss, phénomène connexe des manifestations glaciaires du quaternaire, favorisé par le vent du Nord, dont le mistral actuel doit être un descendant atténué bien qu'il possède encore une énergie de transport certaine comme l'attestent les dépôts actuels de lœss qui recouvrent les sols décalcifiés et une énergie érosive évidente, qui marque tous les monuments de la région.

Deux autres formations lœssiques peuvent masquer le cailloutis :

Le complexe lœssique. — Des matériaux calcaires grossiers arrachés par le gel à l'ancien massif hauterivien se sont mêlés aux apports éoliens; transportée par gravité et solifluxion cette masse hétérogène a recouvert les sédiments pliocènes depuis le pied de la garrigue jusqu'au Vistre. Une coupe dans ce colluvium permet d'observer des bancs de cailloux grossièrement lités, cryoturbés alternant avec des bancs de lœss à poupées. Ce colluvium est appelé synthétiquement « complexe lœssique » ; il peut contenir des matériaux provenant d'une pédogénèse antérieure à la solifluxion.

Les dépôts palustres. — Déposé dans la Vistrenque marécageuse le lœss a été transformé au fur et à mesure de son accumulation, s'enrichissant en calcaire, matière organique et oxydes métalliques.

La coupe schématique ci-dessous, Nîmes-Bellegarde situe les différents sédiments soumis à la pédogénèse.



Coupe schématique des formations sédimentaires de la Costière et de la Vistrenque.

C. — PÉDOGÉNÈSE

En schématisant les relations qui lient le climat à certains phénomènes pédogénétiques, la théorie de la biorhexistasie peut être utilisée pour expliquer les différentes formations pédologiques de la Costière-Vistrenque de même que quelques formations géologiques récentes locales.

En effet, les formations pédologiques sont liées aux phases successives des climats et, dans le cas présent, les phénomènes observés peuvent très bien être raccordés aux périodes glaciaires et interglaciaires qui ont régné lors de leur formation.

a) **Phénomènes anciens.**

Après son dépôt dans le Rhône et son exondation définitive, le cailloutis alpin fut, selon toutes probabilités, recouvert par une abondante forêt de feuillus dont l'humus contribua avec des précipitations atmosphériques à lessiver totalement le calcaire, non seulement de la gangue sableuse, mais encore des galets calcaires, ne laissant que la trame siliceuse qu'on retrouvera sous forme de chailles abondantes dans la nappe du cailloutis altéré.

La topographie du plateau et sa grande perméabilité empêchèrent

la fuite des éléments solubles de cette phase « biostasique » qui, au lieu d'être entraînés par les fleuves vers la mer où ils se déposent sous forme de calcaires, percolèrent en profondeur pour venir se cristalliser au niveau d'équilibre entre les mouvements per ascensum et les mouvements de lessivage.

A l'époque ce niveau était assez profond en raison sans doute de la forte pluviométrie et de la grande perméabilité du cailloutis jointe à sa faible rétention et on aboutit ainsi aux conglomérats de cailloutis consolidé. Ces conglomérats ont eu soit cette origine pédologique superficielle comme toutes les formations continentales, soit, dans certains cas, une origine pédologique profonde et hydrogéologique (circulation des nappes contenant le calcaire de décarbonatation des horizons supérieurs). Sans vouloir absolument séparer ces deux processus, on est obligé de les distinguer car leur mode d'action aussi bien que les effets qu'ils provoquent sont nettement différents.

La décarbonatation a entraîné une modification de la morphologie de la région : le départ du calcaire a produit des tassements qui sont à l'origine des formes karstiques telles que les dolines (dépressions de Campuget, Manduel, etc.) que l'on observe en Costière.

Le calcaire parti, les formations superficielles purent évoluer vers le sol climacique dont il ne reste actuellement que quelques échantillons conservés par les forêts ; il s'agit soit de sols rouges du type méditerranéen, soit de podzols qui sont vraisemblablement l'un et l'autre des sols reliques et non actuels.

Quoi qu'il en soit la nature des argiles de ces formations rouges et l'observation de très nombreuses tranchées (un millier) et des berges du canal montrent qu'une fois le sol décarbonaté, les argiles de néoformation se sont développées à partir des éléments non calcaires du cailloutis dont il ne reste actuellement que des résidus, la plupart du temps non reconnaissables. La rubéfaction des oxydes de fer libérés aboutit aux formations rouges et la migration de l'oxyde colorant se limite aux zones acides.

A la faveur du changement de climat qui intervint lors de la glaciation Riss, il est probable que la forêt fut détruite et remplacée par la steppe : une période « rhexistasique » s'instaura qui eut pour conséquence une érosion-ablation en certains points topographiquement favorables, et un dépôt de lœss provenant peut-être d'un front glaciaire comme le veut la théorie, ou plus simplement par endroits des éléments fins du sable astien tout proche : la granulométrie de l'Astien et celle du lœss sont souvent les mêmes ; il est donc logique de penser, sans nier l'existance d'apports éoliens allochtones, que certaines formations lœssiques de l'Ouest du secteur doivent avoir une origine voisine.

Quoiqu'il en soit, la violence du mistral permet d'admettre l'importance de l'alluvionnement éolien d'autant plus que le vent devait être

bien plus fort qu'aujourd'hui à ces époques de climat rigoureux. (Le fort mistral apporte encore sur les sols acides une mince pellicule de poussière calcaire que l'on décèle très souvent.)

A la fin de la deuxième glaciation l'Interglaciaire Riss-Wurm dut correspondre à une nouvelle période de stabilité : le lœss subit une décarbonatation, une kaolinisation puis une rubéfaction qui le transforment en un sol rouge méditerranéen d'un type particulier : le lehm, ou bien en sol lessivé.

En raison d'une pluviosité sans doute plus faible et d'une capacité de rétention plus élevée des dépôts lœssiques, le lessivage du calcaire aboutit également à la formation d'une croûte au niveau d'équilibre entre les solutions descendantes et remontantes, mais plus proche de la surface et que l'on appelle régionalement « taparas ». Rien n'empêche que sa formation puisse encore être actuelle si certaines conditions sont réalisées.

Pendant la glaciation Wurmienne, une nouvelle phase rhexistasique provoque les mêmes phénomènes avec une intensité moindre dans la zone de départ ; sur la Costière, il y a un nouvel apport de lœss. C'est ainsi qu'on trouvera parfois des lehms fossiles enterrés sous un lœss plus récent.

Cette période correspond également d'après certains auteurs, aux phénomènes de solifluxion qui aboutissent dans cette région à la création du « complexe lœssique » dont nous avons déjà parlé.

A la fin de cette dernière glaciation et à l'aube des temps modernes, on voit se dessiner une dernière période biostasique et forestière que l'homme transformera par la culture en une phase « anthroporhexistasique ».

En effet l'évolution pédologique des sols étudiés est actuellement sinon arrêtée, du moins considérablement ralentie et modifiée par la suppression de la forêt, de son humus et de l'action de ses racines, par les défoncements profonds ou les labours irréguliers qui modifient le lessivage des sols, par les apports d'engrais ou d'amendements, par la modification du régime hydrique dû à l'irrigation ou au drainage qui interrompt l'hydromorphisme, par l'exploitation intensive qui brûle la matière organique et détruit la structure en favorisant l'érosion.

Quoiqu'il en soit, du moment que la formation meuble superficielle qui constitue la biosphère entretient la vie et la supporte, elle est un sol et doit être étudiée en tant que tel.

b) **Phénomènes récents.**

La pédogénèse actuelle permet de distinguer :

a) Des sols évolués sous l'action prépondérante du climat ;

b) Des sols peu évolués ou le plus souvent rétrogradés ;

c) Des sols où l'agent principal d'évolution n'est plus le climat, mais un facteur local, par exemple, en ce qui concerne la Vistrenque, la présence d'une nappe peu profonde.

a) Sols évolués. — Le type climacique de sol de la région est incontestablement le *sol brun calcaire* ou *le sol brun* de structure polyédrique à grumeleuse, de richesse relative en matières organiques et contenant un pourcentage moyen ou faible en calcaire ; quelquefois, surtout dans le cas des formations riches en éléments grossiers, on peut observer un lessivage important des éléments fins : sol brun lessivé (indice de lessivage compris entre 2 et 3).

Ainsi, on aura souvent des sols bruns calcaires de lœss ou de complexe loessique, voire même de sable astien et marne plaisancienne.

b) Sols peu évolués ou rétrogradés. — Souvent l'évolution vers la formation du sol brun calcaire est interrompue par la culture ou l'érosion ; la destruction de la matière organique non renouvelée et l'ablation des horizons supérieurs aboutit à la mise à nu de sols jeunes ou bruts d'érosion qui ont tous les caractères des roches mères dont ils sont issus (texture, structure, composition chimique, etc.), et quelquefois même la couleur (sols lithochromes).

c) Sols hydromorphes. — Le processus de leur formation a bien été décrit par M. MARCELIN :

Dans les dépressions fermées comme celles de la Vistrenque, le « lœss et les éléments les plus fins des terres diverses » sont venus se déposer par alluvionnement éolien et fluviatile dans des sortes de marécages où ils subirent diverses transformations : néoformations argileuses, migration du calcaire et du manganèse qui se déposent plus bas sous forme de poupées pour le premier élément et de pisolithes pour le deuxième, enrichissement de l'horizon inférieur en calcaire par apports de nappe. La matière organique plus ou moins minéralisée et l'humus s'incorporent à la terre et lui donnent une couleur foncée due à des complexes organiques ferreux et ferriques ; les complexes ferreux peuvent également former des taches de gley verdâtre. On note par ailleurs une quantité de coquilles de mollusques dulçaquicoles (limnées) en couches horizontales qui alternent parfois avec des coquilles de gastéropodes terrestres (hélicidées) ce qui semblerait indiquer une légère submersion à certaines époques et une exondation à d'autres époques.

Telle est la pédogénèse des sols hydromorphes purs à hydromorphie originelle (sols « génohydromorphes »). Il ne faut pas les confondre avec tous les autres types de sol qui peuvent avoir acquis une hydromorphie accessoire : soit par mauvais drainage topographique (exohydromorphes) soit par manque de perméabilité intrinsèque (endohydromorphes).

DEUXIÈME PARTIE

DESCRIPTION DES TYPES DE SOL OBSERVÉS

Dans un premier classement, on indiquera les sols rencontrés localement sur les différentes formations pétrographiques exposées précédemment.

Lors de la description des sols, on utilisera un classement pratique et basé sur plusieurs critères (type de sol, pétrographie, localisation).

Enfin dans un dernier paragraphe, on placera les différents types de sol étudiés dans la classification internationale.

A. — CLASSEMENT LOCAL

On y distinguera fondamentalement les *sols simples* formés à partir d'un matériau homogène, et les *sols complexes*, notion primordiale ici, développés à partir de roches-mères complexes et différenciées.

Sols simples.

Quand on y note une nette différenciation du profil, il s'agit alors d'horizons pédologiquement différenciés.

Sols formés sur cailloutis fluvio-glaciaire :

Gress à gapan et ses variétés :

— Gress blond,

— gress caraban.

Sols formés sur lœss :

— sol jeune de lœss,

— sol brun calcaire,

— sol brun calcaire à tendance hydromorphe.

Sols formés sur sables astiens et marnes plaisanciennes :

— sol jeune de sables,

— sol jeune de marnes,

— sol brun calcaire de sables,

— sol brun de sables et de marnes.

Sols formés sur lehm :

— sol brun ou brun lessivé.

Sols de formations « palustres ».

Alluvions.

Sols complexes.

On peut y observer une différenciation en horizons, mais on a souvent affaire à des niveaux pétrographiques différents qui ne sont pas des différenciations pédologiques.

Sols formés sur cailloutis préglaciaire complexe (Villafranchien) :

— gress « colluviaux ».

Sols formés sur cailloutis préglaciaire complexe (Villafranchien) et lœss.

Sols formés sur Complexe Lœssique :

— sol brun calcaire,

— sol brun ou brun lessivé,

avec ou sans accumulation calcaire au niveau d'un lit d'éclats calcaires (Sistre).

Sols formés sur mélange de cailloutis fluvio-glaciaire et lœss :

— demi-gress calcaire ou non,

— demi-gress à gapan,

avec ou sans accumulation calcaire au niveau du cailloutis (Taparas).

Sols formés sur lœss superposé ou calloutis :

— sol brun calcaire sur gress,

avec ou sans accumulation au niveau du cailloutis (Taparas).

Sols formés sur lehm superposé au cailloutis :

— Lehm sur gapan.

Sols palustres complexes.

Enfin, il faut signaler une multitude de combinaisons possibles où les différentes formations que nous venons de signaler se chevauchent dans un ordre quelconque.

B. — DESCRIPTION DES SOLS

Sols simples.

Gress à Gapan.

C'est le sol le mieux représenté, uniquement sur cailloutis du diluvium alpin, qui couvre la plus grande superficie de la Costière. Sa caractéristique principale est de contenir au moins 60 p. 100 de galets ou graviers de quartzites alpins et de quartz cévenols en grosse majorité mélangés à des chailles qui proviennent de la décarbonatation de roches calcaires et à des résidus de roches cristallines variées. Il est typiquement reconnaissable et les agriculteurs le nomment le Gress, le deuxième « S » ayant été ajouté par M. MARCELIN pour officialiser un terme local dont

l'origine doit être recherchée dans la prononciation Languedocienne de « Grès ».

Souvent se trouve à une profondeur variable une accumulation d'argile rouge entre les galets qui est appelée « Gapan ».

Le gress à Gapan se compose donc *d'un horizon de surface* dont les caractéristiques (moyenne de 182 sondages) sont les suivantes :

Éléments grossiers (dimension supérieure à 2 mm) : 70 p. 100.

Texture : entre limon très sableux à sable fin et limon sableux (voir tableau I, des caractéristiques).

TABLEAU I

Caractéristiques pédologiques des sols.

Type de sol et nombre de profils pour le calcul de la moyenne	Horizon	Éléments grossiers			Calcaire total %	Calcaire actif %	pH	Texture %				C %
		Pierres	Graviers	Σ				Sable grossier	Sable fin	Limon	Argile	
Gress à gapan (182)	Supérieur (0–30)	44	26	70	0	—	6,85	14	54	17	12	1
	Inférieur (gapan)	55	31	86	0	—	6,75	16	33	16	31	—
Lithochrome de lœss	Supérieur	1	3	4	0	—	7,3	8	60	17	14	0,7
	Profond	8	7	15	0	—	6,9	9	49	21	19	—
Brun calcaire de lœss (25)	Supérieur (0–35)	2	9	11	25	6	—	9	44	26	16	0,84
	Profond (70–120)	5,5	11	16,5	27	8		10	37	26	21	—
Lehm (70)	Supérieur	1	3	4	0	—	7,3	8	60	17	14	0,7
	Profond	8	7	15	0	—	6,9	9	49	21	19	—
Sol brun calcaire du complexe lœssique (30)	Supérieur	5	9	14	22	5	—	7	44	27	18	0,88
	Inférieur	7	11	18	24	6	6	6	39	30	21	—
Brun décarbonaté de complexe (9)	Supérieur	1	5	6	0	—	7,85	3,5	48,5	27	17,5	0,91
Genohydromorphe calcimorphe (170)	Supérieur	0,5	3,5	4	32	10	—	6,5	40	29	22	1,27
	Profond	2	5	7	46	18		7	36	29	24	—
Lehm sur gapan (76)	Supérieur	2,5	4,5	7	0	—	6,9	5,5	59	18,5	15	0,78
	Profond (gapan)	50	36,5	86,5	0	—	6,9	16	32,5	18	31	—
Demi-gress calcaire (7)	Superficiel	29	18	47	14	5	7,4	14	54	15	14	1,5
	Inférieur	42	16	58	47	10	7,4	18	41	18	18	—
Demi-gress à gapan (120)	Supérieur	28	17	45	0	—	7	11	56	16	13	0,9
	Inférieur	56	29	8,5	0	—	7,1	16	33	17	30	

Calcaire : néant et pH : 6,85.

Couleur : beige à beige rougeâtre avec une structure de type poudingue, assez lâche.

Teneur en matière organique assez constante et voisine de 2 p. 100.

Quand il existe un *horizon moyen*, il est intermédiaire avec l'horizon de gapan.

Le gapan constitue *l'horizon inférieur :*

Éléments grossiers : 86 p. 100.

Texture de la matrice : en moyenne limon argilo-sableux (avec 31 p. 100 d'argile) ou dans certains cas : argile sableuse, d'une couleur très caractéristique qui l'a fait appeler dans la région « Sang de Bœuf ».

Complexe absorbant : 16 à 17 milliéquivalents par 100 g de terre fine, il est bien pourvu en calcium (12 à 13 milliéq. p. 100) et en magnésium (2 à 3 milliéq. p. 100).

Structure : du type poudingue cimenté (par l'argile) mais les racines descendent bien à travers.

pH moyen : 6,75.

Quelle que soit l'origine de la formation rouge, tout le monde s'accorde pour dire qu'elle n'est pas actuelle. S'agit-il d'un sol rouge méditerranéen ou de l'horizon d'accumulation d'un podzol ferrugineux ancien, il est difficile de se prononcer car si l'on trouve parfois des sols reliques conservés par la forêt ayant tous les caractères des sols rouges tempérés, un de nos collaborateurs, M. RUTTEN, a trouvé dans la région avoisinante, au Nord de Lunel un podzol ferrugineux relique qui permettrait d'expliquer l'existence de formations rouges analogues [1]. Une chose paraît certaine : les argiles du gapan sont composées d'un mélange de minéraux phylliteux à 10-14 Å où la Montmorillonite domine par rapport à la Kaolinite qui est en plus faible quantité. Elles proviennent de l'altération des éléments cristallins ou métamorphiques du cailloutis, après sa décarbonatation. Une rubéfaction ultérieure leur a donné une belle couleur rouge par transformation des oxydes de fer (limonite, goethite) en hématite d'une façon irréversible... tant que les conditions de drainage sont bonnes. La proportion de kaolinite étant quelquefois très faible, on incline à penser qu'il s'agit plutôt de l'horizon d'accumulation d'un sol ancien que d'une terra rossa, qui serait alors une argile de décarbonatation d'un type tout à fait particulier. Des analyses ultérieures et une recherche spéciale qui vont être poursuivies tâcheront d'élucider la question.

(1) *Profil du Podzol de Restinclières* formé sur sable de l'éocène :
0-5 Horizon Ao noir et humifère (sable grossier contenant 1,35 p. 100 C),
5-20 A_1 gris cendreux (0,15 p. 100 N, pH = 4,4,
20-40 B_1 ocre rouge clair, sable argileux (22 p. 100 argile, 44 p. 100 sable grossier), 0,5 p. 100 C, pH = 4,3.
40-70 B_2 rouge foncé, sable argileux (24 p. 100 A et 49 p. 100 S. G.), pH = 4,5.

Quoiqu'il en soit le type actuel de ce sol est celui d'un brun lessivé (indice de lessivage = 2,5), ou mieux d'un *rouge lessivé* étant donné sa couleur et son origine présumée. Le lessivage mécanique des éléments fins est fortement favorisé par la présence des éléments grossiers et il est actuel en ce sens que si l'horizon de gapan est ramené à la surface par le labour, il redescend en quelques années.

D'autres variétés de gress existent qui peuvent également être considérés comme des sols rouges lessivés : le *gress caraban* en particulier est un sol lessivé dont le pH est quelquefois très acide et où l'horizon d'accumulation est beaucoup plus profond.

Dans la région Sud-Sud-Ouest, à proximité de l'Astien, il s'est produit un mélange qui a donné au gress de cette région une texture sableuse, c'est une variété décrite sous le nom de sol lessivé de cailloutis et de sable.

Dans certains cas il se développe au niveau du gapan des conditions asphyxiantes : la couleur peut prendre souvent celle de la limonite (beige jaunâtre) et on y trouve même parfois des pisolithes de manganèse. Il s'agit là d'une tendance à l'endohydromorphie (signalée sur la carte par des pastilles bleu foncé).

Sols jeunes ou bruts d'érosion.

Il s'agit de sols très peu évolués, ayant en principe tous les caractères de la roche mère, s'en distinguant fort peu, soit qu'une érosion perpétuelle « rajeunisse » le profil, soit qu'une culture sans précautions ait brûlé la matière organique, détruit la structure et provoqué une rétrogradation par dégradation. De tels sols ont des roches-mères friables dont les homologues sur roches dures sont les sols squelettiques.

a) Sol jeune, lithochrome de lœss.

L'évolution du profil se limite à la formation de quelques poupées calcaires et à un léger enrichissement superficiel en matières organiques, sans que pour cela la couleur beige jaunâtre typique du lœss en soit modifiée. La texture, qui est un limon très sableux à sable fin,contient 60 p. 100 de sable fin et 14 p. 100 de limon dans l'horizon superficiel contre 56 p. 100 de sable fin et 21 p. 100 de limon pour l'horizon profond, ce qui représente la même somme, le taux de sable grossier et d'argile étant respectivement 8 à 14 p. 100 dans les deux cas. Il n'y a donc aucun lessivage si ce n'est un très léger déplacement du calcaire (30 p. 100 contre 24 p. 100 pour l'horizon de surface) dont les pseudomycelium sont les traces visibles. Dans la nouvelle classification des textures où le sable fin (200 à 20 μ) devient en partie du limon grossier (50 à 20 μ), plus de 80 p. 100 des éléments sont des limons.

Ce profil moyen est d'ailleurs à rapprocher de l'analyse du lœss typique prélevé à Lédenon :

Ancienne classification internationale	Nouvelle classification	
Sable grossier 2	 2	
Sable fin 60	 2	
	Limon grossier 58	80 %
Limon 30	 30	
Argile 8	 8	

La grosse proportion de sables fins et limon (limons grossier et fin dans la nouvelle classification) permet d'expliquer qu'une structure souvent continue et compacte, peu stable, provoque des phénomènes d'asphyxie, donnant une tendance à l'endohydromorphie.

b) Sols jeunes lithochromes de sables et marnes sableuses.

Entre les sables astiens typiques et les marnes plaisanciennes, il existe toutes les variétés intermédiaires allant d'une texture grossière à celle des marnes sableuses. On ne peut pas calculer de moyennes valables pour ces types de sol, car leur profil est la succession de *lits* sableux de texture variable pouvant contenir 45 p. 100 de sable grossier et autant de sable fin, ou bien se rapprochant exactement de la texture du lœss. La couleur est jaune orangé pour l'Astien et gris bleuté pour le Plaisancien ; la teneur en calcaire oscille autour de 30 p. 100 et les matières organiques sont fort peu abondantes (0,5 p. 100 de carbone).

Le profil est quelquefois limité par un banc de grès et la structure presque toujours continue et mal formée est très instable (voir tableau III).

Sols bruns calcaires.

Ils représentent comme nous l'avons déjà indiqué, le type climacique le plus fréquent des sols actuels de la région. On les trouve sur les roches-mères suivantes :

a) Sol brun calcaire de lœss.

Les moyennes, qui portent sur 25 observations, donnent pour texture de l'horizon de surface un limon-sableux à sable fin de couleur beige brun avec une structure grumeleuse à micropolyédrique assez bien formée, mais peu stable (voir tableau II).

La faiblesse de la structure s'explique par une texture ne comprenant que peu d'argile (15 p. 100) et d'humus (0,89 p. 100 de carbonne), donnant peu de ciment argilo-humo-ferrique.

L'horizon profond est un limon argilo-sableux (à la limite du limon

sableux) de couleur beige jaune ou beige orangé, comportant souvent de nombreuses poupées calcaires, avec pseudomycelium dans l'horizon intermédiaire.

Les sols bruns calcaires de lœss ne sont jamais lessivés.

TABLEAU II

Analyses d'agrégats.

Types de sols	Profondeurs	Agrégat vrais (moyenne des essais à l'alcool) Benzène — eau).
Astien colluvial	20 — 65	6,8 %
Lithochrone d'Astien	25 — 40	1,6
	60 — 80	0,8
Gress à gapan	40 — 70	17,4
Brun calcaire de loess	20 — 60	4,9
	60 — 80	5,9
Lehm	25 — 40	8,9
Brun calcaire sur ancien hydronorphe calcinorphe	0 — 25	27,8
	25 — 55	44,2
	80 — 100	24,6

Nota. Ces analyses, ainsi que les déterminateurs d'argiles, ont été faites, grâce à la complaisance de Monsieur S. Hénin, dans son laboratoire.

Sol brun calcaire de lœss à tendance hydromorphe.

Situés dans une zone mal drainée, ils ont un horizon profond réduit et font la transition avec les sols exohydromorphes d'origine lœssique.

b) Brun calcaire de sables.

Ils possèdent les mêmes caractères que les sols lithochromes de sables astiens mais avec de légères différences montrant une évolution plus prononcée (taux de matière organique plus élevé, structure mieux formée et couleur plus foncée).

Parfois l'Astien est mélangé au Plaisancien : la texture est plus fine et la couleur plus foncée. C'est un sol brun calcaire de sables et marnes sableuses.

c) Brun calcaire de diluvium alpin et lœss.

D'une manière générale, le cailloutis a été recouvert par une quantité variable de lœss, quand il y en a peu, elle s'est mélangée avec l'horizon superficiel (0 à 40 cm) et à formé ce qu'on appelle dans la région un *demi-gress*. En pratique un sol porte ce nom quand l'horizon de surface contient de 30 à 60 p. 100 de galets plio-quaternaires et il est généralement suivi d'un horizon profond qui présente tous les caractères du gress.

Quelquefois cependant le mélange est profond et l'on peut parler d'un demi-gress calcaire pur, c'est-à-dire de sol brun calcaire de cailloutis plio-quaternaire et de lœss pur.

Sols bruns.

Les sols bruns représentent un stade d'évolution ultérieur des sols bruns calcaires, les roches-mère dont ils sont issus étant les mêmes, par conséquent toujours calcaires.

a) Sol brun et brun lessivé de lœss ou lehm.

Le lessivage du calcaire a été favorisé par l'épaisseur en général assez faible du lœss sur un cailloutis bien drainé. Quand l'épaisseur du lœss est cependant suffisante pour que le cailloutis sous-jacent puisse être considéré comme ne faisant pas partie du sol, on a affaire à un lehm épais.

TABLEAU III

Complexe absorbant

Type de sol	Profondeur	pH	Cal. total	Bases échangeables				S somme	T capacité d'échange
				Na	K	Ca	Mg		
Gress â gapan (Bo 35)	0–40	5,1		0,05	0,23	2,88	0,48	3,64	10,1
	40–80	6,6		0,10	0,42	12,0	0,95	13,47	15,8
	80–120	7,1		0,07	0,40	13,4	1,65	15,52	15,3
Gress à gapan Bl (64)	0–30	7,1		0,08	0,44	8,32	1,28	10,12	11,1
	80–120	7,2		0,21	0,26	13,6	3,4	17,47	16,15
Gress à gapan (Bl 41)	0–50	6		0,16	0,23	6,4	0,65	7,44	11,45
	90–120	6,4		0,10	0,24	12,6	1,6	14,54	16,8
Gress à gapan (Ve 20)	0–90	5,9		0,08	0,38	4,8	2,1	7,36	9,4
	OL–120	5,8		0,09	0,56	11,65	3,65	16,15	19,65
Gress à gapan réduit (Gi 60)	0–20	6,3		0,13	0,24	6,9	3,0	10,27	11,65
	20–70	6,2		0,23	0,26	17,3	3,5	21,29	24,85
	70–120	5		0,36	0,14	22,7	5,6	28,80	32,6
Lithochrome de lœss (Bl 76)	0–60	6		0,20	0,11	13,9	0,8	15,01	11,75
	20–70	6		0,13	0,08	13,6	0,8	14,61	10,9
	100–120	5		0,19	0,07	14,1	0,9	15,26	10,75
Lithochrome d'Astien (Bv 24)	0–20		27	0,28	0,08	17,3	3,2	20,86	16,1
	60–120		24	1,85	0,07	15,5	3,05	20,57	15,5
Brun calcaire de lœss (Ca 42)	0–40	7,1		0,13	0,19	12,5	0,9	13,12	14,35
	80–120	7		0,10	0,22	16,8	3,05	20,17	18,75
Hydromorphe calcimorphe (Uc 7)	0–20		54	0,25	0,23	26,75	1,45	28,68	23,2
	50–85		54	0,22	0,09	18,7	0,65	19,66	16,1
Brun lessivé (sur taparas) (Ga 53)	0–60	7,1		0,10	0,15	12	2,9	15,15	16,1
	60–90		9	0,23	0,14	20,2	3,35	23,92	20,5
Brun lessivé sur gapan (Ns 13)	0–30	7		0,21	0,12	7,5	3,7	11,53	9,85
	30–90	7		0,23	0,15	10,1	2,55	13,03	13,75
	90–120	7,2		0,19	0,16	12,65	4,8	17,80	17,4

La texture toujours légère de l'horizon superficiel, est intermédiaire entre le limon très sableux à sable fin et le limon sableux. Le complexe

absorbant (voir tableau III) est riche en calcium, ce qui explique que, même sans calcaire le pH soit neutre et même légèrement basique (7,3). La couleur est brune à brun rougeâtre, la tendance rouge s'expliquant par le peu d'abondance des matières organiques (0,7 p. 100 de carbone). La structure est continue se délitant en polyèdres, ou bien nuciforme, la sous-structure essentiellement variable.

L'horizon d'accumulation calcaire peut être atteint ou non par la tranchée d'observation (1,20 m) et la texture, intermédiaire entre le limon sableux à sable fin et le limon argilo-sableux, est également variable donnant pour certains profils un indice de lessivage permettant de classer ces sols dans les *sols bruns légèrement lessivés* ou même *lessivés*.

La couleur est typiquement rougeâtre.

b) Sol brun de sables et de marnes sableuses.

La décarbonatation est pour des roches-mère friables le signe le plus visible de l'évolution, à moins que le lit de sable ne se trouve sous une couche de cailloutis altéré auquel cas il peut contenir les éléments lessivés de l'altération, c'est-à-dire les argiles rubéfiées, témoins d'une pédogénèse antérieure et donnant des sols complexes que nous verrons par la suite.

Les sols « bruns » d'Astien et de Plaisancien ne présentent rien de particulier sinon que leur type est très peu évolué et leur couleur beige orangé ; il vaudrait mieux les appeler simplement « sols décarbonatés de sables et marnes sableuses ».

Sols hydromorphes.

a) Sols génohydromorphes.

Presque tous les sols de la Vistrenque sont des « terres palustres » : leur formation a eu lieu en zone marécageuse et ils en portent la trace.

Formés en milieu marécageux, ils présentent une couleur grise de bas en haut ce qui semble indiquer une répartition homogène de la matière organique.

En effet, une analyse a montré dans un cas bien précis une répartition régulière sur tout le profil :

			C %	N %
Horizon 1 (0 à 40 cm) beige gris ...	1,6 %	Matière organique totale	0,80	0,12
Horizon 2 (40 à 90 cm) gris noir ...	1,55 %	Matière organique totale	0,77	0,09
Horizon 3 (90 à 120 cm) gris noir ..	1,42 %	Matière organique totale	0,71	0,09
Horizon 4 (120 à ...) grisó.....	1,5 %	Matière organique totale	0,75	0,10

Le rapport C/N qui est inférieur à 10-(de l'ordre de 7,6) indique que la matière organique est très ancienne, et qu'une fois transformée par minéralisation partielle dans le marécage qui forme le sol, elle s'y est conservée sans modification appréciable.

Le rapport C/N moyen de la région pour la matière organique bien humifiée est en effet de 9 à 10 en moyenne.

Certains de ces sols sont décarbonatés, d'autres peu calcaires. Par contre la plus grande majorité est extrêmement calcaire par enrichissement permanent à partir de la nappe phréatique : ce sont les génohydromorphes calcimorphes.

Comme dans presque tous les cas où les conditions sont réductrices, on y trouve d'abondants pisolithes de manganèse dont la composition est la suivante :

Humidité	5 %
Perte au rouge (eau liée)	7 %
Silice totale	46,5 %
Fer total en Fe : 7,8 % et en Fe_2O_3 :	11 %
Mn total en Mn : 6,7 % et en Mn_2O_3	10 %

Il reste donc d'autres éléments, vraisemblablement de l'alumine, mais l'ensemble constitue bien une concrétion métallique fer-manganèse siliceuse.

Le profil se compose :

— d'un horizon superficiel de texture limoneuse, de couleur beige gris à gris foncé et dont la structure, nettement polyédrique se délitant en grumeaux bien formés est très stable (voir tableau II).

— d'un horizon moyen et

— d'un horizon profond, dont la texture est toujours celle d'un limon, beaucoup plus riche en calcaire, ce qui donne à l'ensemble une couleur gris blanchâtre bariolée de jaune par les taches de réduction.

On trouve dans l'ensemble du profil de nombreuses coquilles de mollusques (hélicidées et limnées), et quelques cailloux calcaires.

La très forte teneur en calcaire finement divisé de l'horizon inférieur (voir tableau I) ne peut s'expliquer que par un apport de la nappe phréatique, cette accumulation ne pouvant venir d'en haut où la teneur est déjà élevée.

Le drainage entrepris depuis fort longtemps permet de mettre en valeur ces sols qui sont naturellement d'une grande fertilité (voir tableau III). En fait il a été entrepris dès le moyen âge par les moines, abandonné à d'autres époques et repris avec des fortunes diverses, mais son effet, même sur des sols franchement hydromorphes comme celui que l'on vient de décrire, permet aux radicelles de descendre jusqu'au fond, où l'on trouve également des galeries de Lombrics prouvant que les conditions n'y sont pas si mauvaises.

Lorsque les anciens sols hydromorphes ont été drainés d'une façon continue et depuis très longtemps, leur caractère tend à s'estomper et l'évolution pédogénétique est celle d'un sol brun calcaire. Il est difficile de les distinguer des sols bruns ayant tendance à l'hydromorphie par mauvais drainage (évolution inverse) mais on arrive cependant à le faire par

l'observation attentive et minutieuse des profils : la couleur des horizons est très utile pour cette distinction (1).

La teneur en calcaire, quoiqu'élevée, l'est moins que dans les calcimorphes vrais ; il n'y a plus enrichissement en calcaire par la nappe phréatique, et le pourcentage qu'on y observe tend vers celui d'un brun calcaire de loess. Poupées nombreuses, taches diverses, coquilles abondantes et quelques pisolithes de manganèse sont parmi les éléments figurés remarquables.

Inversement, on trouve le processus opposé : les sols bruns, calcaires ou non, peuvent tendre vers l'hydromorphie s'ils sont mal drainés (2). C'est le premier stade d'évolution qui nous conduit vers la catégorie suivante des sols hydromorphes.

b) Sols exohydromorphes.

Les causes de mauvais drainage et d'asphyxie sont extérieurs au sol lui-même et proviennent en général de conditions topographiques défavorables au drainage (c'est le cas des sols de petites dépressions) et le caractère d'hydromorphisme ne fait que se surajouter aux résultats d'une pédogénèse antérieure.

On peut y distinguer particulièrement deux cas bien nets :

Lehm hydromorphe

La texture est celle d'un lehm avec pour l'horizon de surface une couleur variable : orangé, gris ou brun, l'hydromorphie relativement récente n'ayant pas atteint les couches superficielles.

En profondeur, la texture est un limon argilo-sableux et il s'agit donc d'un sol légèrement lessivé et hydromorphisé par la suite.

La couleur est brun jaunâtre avec de nombreuses taches de réduction et même des taches de gley verdâtre, ou bien des marbrures brunes et jaunes. Les pisolithes sont nombreux, les racines rares et l'on trouve souvent un plan d'eau peu profond.

Gress hydromorphe.

Ils sont soit simples, soit mélangés à des sables astiens dans la région sud comme le montre la texture (voir tableau I).

La couleur générale est noirâtre avec taches de réduction au bas du profil : la couleur foncée doit être due à la dispersion des solutions ferromanganiques dans l'ensemble du profil (on n'y observe pas de pisolithes de manganèse en général et la teneur en matières organiques est très modeste). C'est donc un phénomène de migration en milieu réducteur,

(1) Sur la carte, ceci est traduit par des pastilles brunes parsemant le bleu clair des sols genohydromorphes.

(2) Pastilles bleues sur le marron des sols bruns calcaires.

homologue à la fixation en des points privilégiés des solutions silicatées ferro-manganiques qui aboutit à la formation des pisolithes, mais dans des conditions sans doute différentes.

c) Sols endohydromorphes.

Les causes de mauvais drainage et d'asphyxie sont inhérentes au sol lui-même et ne proviennent pas forcément de conditions topographiques défavorables au drainage mais à certains caractères du sol : texture trop lourde, structure trop compacte ou présence d'un obstacle au drainage (croûte calcaire).

Ces sols n'occupent donc pas des situations géographiques déterminées, comme les « terres palustres » par exemple, et leur nature ne se révèle souvent qu'à l'observation du sondage si bien qu'il est difficile d'en localiser les zones (1). Il est très rare même de trouver des sols simples « endohydromorphes » il n'existe en général que des sols à « endohydromorphie », ce sont donc des sols complexes.

d) Sol hydromorphe à alios-ferrugineux.

Cas unique en Costières, cet alios silico-ferrique d'origine vraisemblablement podzolique d'après MARCELIN, repose sur une argile sableuse, grise bariolée de vert, de jaune et de rouille, avec des concrétions ferrugineuses et des pisolithes de manganèse. Sa faible profondeur (35 cm) permet de supposer qu'il y a eu ablation d'une partie du profil ; l'alios lui-même ne paraît pas absolument imperméable puisque certaines radicelles arrivent à le traverser, mais l'argile sableuse qui se trouve en dessous et qui provient vraisemblablement du lessivage antérieur de cet ancien sol podzolique, crée des conditions d'endohydromorphie. C'est le cas de sols podzoliques mal drainés et d'après DUCHAUFOUR la formation d'alios qui « se forme généralement au-dessus d'une nappe phréatique dans les stations mal drainées » aurait donc été postérieure à l'hydromorphie : l'alios s'est développé dans un sol hydromorphe mais il n'est pas responsable du blocage du drainage ; il n'en est qu'une conséquence.

Sols alluviaux à tendance hydromorphe.

Ce paragraphe sera très limité étant donné qu'il y a très peu de cours d'eau sur le périmètre étudié.

L'écoulement insuffisant du *Vistre* a permis la conservation des sols palustres dans leur état initial, ou presque.

Ses affluents de rive droite déposent dans le Vistrenque des matériaux arrachés à la garrigue mais en faible quantité (la majeure partie

(1) Pastille bleu foncé à l'endroit de l'observation.

étant entraînée dans la zone franchement alluviale au Sud-Ouest). Ces apports sont trop minces pour former des sols alluviaux typiques : les défoncements suffisent à les mélanger aux matèriaux palustres.

— Sur la rive gauche *le Vallat du Campagnole* et *le Vallat du Rieux* déposent des sables d'origine astienne.

— Les formations alluviales les plus notables sont celles du *Rhôny* réparties sur une mince frange de chaque côté de son lit actuel. Le profil des 3 sondages très semblables situés dans cette frange alluviale est celui d'un sol peu évolué dont les caractéristiques sont les suivantes :

Horizon superficiel (0,40). C'est un limon contenant 6 p. 100 d'éléments grossiers, calcaire et moyennement pourvu en matière organique, beige foncé et de structure assez mal formée dans l'ensemble.

Horizon moyen (40-85). Limon également contenant aussi 6 p. 100 de pierres et graviers, de couleur gris beige avec des taches jaunes et des concrétions farineuses blanches parfois.

Horizon profond. On atteint, sur un des sondages, des formations différentes sur lesquelles se sont épandues les alluvions du Rhôny, le cailloutis plio-quaternaire et le complexe lœssique ce qui fait monter la moyenne des éléments grossiers du 3e horizon à 25 p. 100.

Les sols alluviaux ne sont donc pas bien épais.

Texture : limon de couleur grise quand ce sont les alluvions pures et jaune lorsqu'elles sont mélangées au substratum.

Structure : continue et sous -structure à tendance micropolyédrique, sauf en ce qui concerne le sondage caillouteux où la structure est graveleuse.

On voit donc qu'on a bien affaire à des sols alluviaux de texture limoneuse, peu évolués, sauf peut-être pour ce qui est d'une très légère migration du calcaire et une tendance hydromorphe certaine.

Sols complexes [1]

Ce qui caractérise en fait la région, c'est justement l'abondance des formations complexes perpétuellement remaniées, à cause des apports successifs de lœss, suivis de lessivages périodiques, ainsi que nous avons essayé de le représenter dans notre pédogénèse.

Tâchons de voir comment ces différents éléments peuvent se combiner et ce qui en résultera. Il est très difficile d'établir une classification basée sur une hiérarchie des facteurs car ils s'interpénètrent et l'on aboutit à un ensemble très touffu : on est donc obligé d'accorder une importance prépondérante à certains par rapport à d'autres qui en deviendront dépendants.

[1] Pour la représentation des sols complexes sur la carte, on a été obligé d'utiliser le système de bandes horizontales d'inégales épaisseurs.

On peut classer les différents cas en :

— Sols superposés formés d'un sol ancien surmonté d'un sol actuel.

— Sols complexes où l'individualisation poussée d'un horizon a créé une discontinuité très nette dans le profil (sols à encroûtement calcaire par exemple).

— Sols complexes formés sur matériaux complexes.

— Sols superposés dont chacun des composants est formé à partir de matériaux complexes.

Cependant cela revient à grouper ensemble des séries de sols qui n'ont aucun lien géographique, qui sont d'un type différent et à séparer au contraire des cas extrêmement voisins, si bien que nous proposons de se baser sur la hiérarchie des caractéristiques suivantes :

Type du sol actuel (brun calcaire — brun à encroûtement) ;

Structure pédogénétique (sol superposé, sol complexe, etc.).

Enfin, on tiendra compte de certains groupements géographiques, qui seront quelquefois sortis du lot pour former des cas spéciaux.

On obtient ainsi l'ensemble suivant :

I. — Sols bruns calcaires.

1° Sols superposés.
2° Sols formés sur matériaux complexes.
3° Sols superposés et formés à partir de matériaux complexes.

II. — Sols bruns.

1° Sol complexe.
2° Sols superposés.
3° Sols superposés formés à partir de matériaux complexes.
4° Sols bruns de la région du Sud-Ouest, comprenant un ensemble de sol complexe, sols superposés, sol superposé formé à partir de matériaux complexes.

III. — Sols à encroûtement calcaire.

Ce sont tous des sols complexes.

Sols à taparas.

1° Sols complexe.
2° Sols complexes superposés.

Sols à sistre.

IV. — Sols complexes hydromorphes.

Sols exohydromorphes.

1° Sols complexes.
2° Sols superposés.

Sols endohydromorphes.

Ce sont tous des sols complexes.

V. — Sols complexes et sols superposés divers.

I. — Sols bruns calcaires.

1° Sols superposés.

Sol brun calcaire de lœss sur sol rouge du cailloutis fluvio-glaciaire (*Sol brun calcaire sur gress*).

C'est la superposition d'un sol brun calcaire développé sur lœss déposé postérieurement à la formation du sol rouge de cailloutis plio-quaternaire.

Ce type de sol complexe est assez rare, car si la couche de lœss est assez mince pour qu'on puisse trouver le « gapan » au fond de la tranchée d'observation, on a en général affaire à un lehm. Il s'agit vraisemblablement dans ce cas d'un apport lœssique récent comme on l'a souvent observé dans la moitié Ouest de la Costière où l'apport éolien postérieur à la décarbonatation qui a évidemment été remanié par les travaux culturaux, se traduit néanmoins au niveau de la semelle de labour par un passage très rapide d'une teneur en calcaire total assez importante à l'absence totale de carbonate en profondeur : sur 32 profils, l'apport superficiel est en moyenne de 5,35 p. 100, allant de 0,1 à 15 p. 100.

2° Sols formés sur matériaux complexes

a) *Brun calcaire de cailloutis à lentilles de sable* (cailloutis antéglaciaire Villafranchien).

Jusqu'ici, on croyait que certains gress typiques de la région topographiquement tourmentée du Sud-Ouest (Saint-Gilles-Vauvert) où l'on rencontre souvent un horizon caillouteux sur un autre qui l'est moins, étaient des gress colluviaux. En réalité, c'est beaucoup plus simple, et la coupe du canal en donne l'explication : le cailloutis de cette région est entrecoupé de lentilles de sable ou d'argile, typiques d'une sédimentation deltaïque entrecroisée (Villafranchien).

Il n'est évidemment pas possible de faire une moyenne de ces gress anormaux, leur variabilité étant trop grande, mais, hormis la superposition anarchique de lits caillouteux et sableux, la texture de la matrice permet de les différencier des demi-gress classiques formés à partir du diluvium et du lœss.

b) *Brun calcaire du Complexe lœssique.*

Cette formation se rencontre le long de la Garrigue Nîmoise ; les sols qui en dérivent ont en général tous les caractères des sols colluviaux assez peu évolués ; en fait c'est la roche mère elle-même qui est un colluvium de solifluxion et les sols sont des bruns calcaires en général assez peu évolués.

Leur particularité est de comporter une proportion essentiellement variable de cailloux calcaires dans une texture de limon sableux à sable fin, ce qui donne souvent des niveaux caillouteux dans le profil : la structure est bien formée en mottes polyédriques.

L'horizon profond est plus lourd et argilo-sableux contenant de nombreux pseudomycelium et des concrétions calcaires. Cet horizon est souvent remplacé par un encroûtement calcaire comme nous le verrons plus loin.

3° Sols superposés et formés a partir de matériaux complexes

a) *Sol brun calcaire de loess et de cailloutis sur sol rouge lessivé de cailloutis* (*demi-gress calcaire*).

Il est analogue au précédent avec mélange du cailloutis et du lœss dans les horizons superficiels. Pour les mêmes raisons, ce cas est assez rare et l'on a en général à faire à des demi-gress non calcaires, par lessivage des carbonates. Quand les carbonates ne sont pas entièrement lessivés, ils peuvent créer un horizon d'accumulation dans le cailloutis sous-jacent, le rendant fortement calcaire ; cela peut même aller jusqu'à l'encroûtement comme nous le verrons dans les sols à taparas.

b) *Sol brun calcaire de lœss et de sable sur sol rouge de cailloutis* (*demi-gress calcaire*).

On observe ce complexe dans la région Sud-Ouest où la proximité des sables astiens a provoqué un remaniement local sur le sol rouge ancien; il peut même y avoir *un sol brun calcaire de sable sur sol rouge de cailloutis* (*Sol brun calcaire sur gapan*).

c) *Sol brun calcaire de lœss et cailloutis sur niveau de lœss et cailloutis décarbonatés.*

Dans la région colluviale d'Aigues-Vives on observe cette superposition de mélanges qui peut s'expliquer par les coulées de solifluxion qui rendent cette zone extrêmement complexe et d'interprétation difficile.

d) *Sol brun calcaire de læss sur complexe læssique décarbonaté.*

Cette superposition anormale est due à un apport læssique postérieur à la décarbonatation du complexe læssique.

II. — Sols bruns.

1° Sols complexes

a) *Sol brun ou brun lessivé du complexe læssique à horizon d'accumulation calcaire.*

Les sols bruns décarbonatés formés à partir du complexe lœssique ne sont presque jamais des sols à profil simple en ce sens que, le calcaire lessivé, l'horizon décarbonaté surmonte toujours soit un horizon d'accumulation calcaire soit un encroûtement.

La partie décarbonatée présente des caractéristiques extrêmement variables puisqu'il s'agit d'un sol développé sur colluvium, mais les moyennes qui ont tout de même été calculées, font apparaître une proportion de 6 p. 100 d'éléments grossiers calcaires dans un limon sableux à sable fin d'un pH de 7,85 (indice d'un complexe saturé de calcium) et relativement assez riche en matière organique (pour la région).

b) *Sols bruns de sables et cailloutis à lentilles* (*Gress colluvial*).

La plupart des sols sableux plus ou moins décarbonatés contiennent des galets qui ont fait penser, nous l'avons vu, à une origine colluviale. En fait, sans nier la valeur de cette interprétation des profils, nous avons été amenés à réduire le rôle du colluvionnement, son intervention n'étant pas nécessaire à la formation des sols hétérogènes qui couvrent la majeure partie de la zone Sud-Ouest, Sur Villafranchien où le diluvium renferme, surtout à sa base, des lentilles sableuses dont les dimensions peuvent atteindre 1 m d'épaisseur et plusieurs dizaines de mètres de longueur, ces lentilles peuvent être composées uniquement d'éléments fins (cas le plus important) ou se réduire à de minces lits moins riches en éléments grossiers ou moyen, il peut être totalement décarbonaté, même si le cailloutis superposé est calcaire ; au contact des lentilles, le cailloutis peut être essentiellement graveleux.

Que cette roche mère si variable ait en outre subi par place un colluvionnement est certain, le relief est assez accentué pour cela.

De même, il est peu vraisemblable que le vent, qui a déposé un manteau lœssique presque continu sur le reste de la Costière, n'ait rien apporté ici ; il a pu aussi déplacer à courte distance les fractions fines des lentilles du cailloutis et de l'Astien : il est souvent très difficile de distinguer les deux dans cette zone et les sols bruns calcaires de sables et cailloutis contiennent aussi du lœss. Les sols bruns de lœss et de sables sont un

des résultats de ce mélange, de même que les sols bruns lessivés de sables et de lœss, et brun lessivés de sables et cailloutis à lentilles.

L'homme enfin par ses défoncements a pu contribuer au mélange des formations en place et des apports.

A cause de cette complexité, la description d'un profil moyen n'aurait pas de sens, pas plus que celle d'un profil pris au hasard.

2° Sols superposés.

Sol brun ou brun lessivé de lœss sur sol rouge de cailloutis (= *lehm sur gapan*).

Quelques galets épars parsèment l'horizon superficiel, arrachés par le soc de la charrue aux couches inférieures et mélangés avec la terre fine de surface qui est toujours de texture légère (limon très sableux à sable fin — limon sableux à sable fin).

De couleur beige brun, cet horizon présente une structure continue qui donne l'impression d'être particulaire dans le détail. Cette impression fausse est due à la présence de très nombreux agrégats minuscules qui se délitent à l'eau et qui nous ont fait donner à cette structure le nom de « pseudoparticulaire ».

Fait suite un horizon de limon argilo-sableux sans pierres ni graviers, de couleur rouge brun et dont le pourcentage d'argile peut atteindre un taux suffisant pour donner au sol un indice de lessivage de 2,5.

Enfin l'horizon profond riche en éléments grossiers (85,5 p. 100) dans un limon argilo-sableux rouge, neutre (pH = 6,9), est bien un gapan dont la structure continue du type poudingue est définie dans le détail et dont l'analyse a montré qu'elle était relativement stable (voir tableau II). Les racines y descendent d'ailleurs très profondément et l'on ne peut y déceler aucune trace d'asphyxie, les taches jaunâtres qui y sont visibles étant dues aux « galets pourris » qu'on peut toujours y observer, et les taches noires aux dépôts de manganèse et fer sur certains galets.

3° Sols superposés formés a partir de matériaux complexes.

Sol brun de lœss et de cailloutis sur sol rouge de cailloutis (= *demi-gress à gapan*).

C'est assurément le cas le mieux représenté ; le calcaire du loess lessivé a souvent formé un encroûtement qui occupe une position variable (voir sols à taparas). S'il a disparu complètement, on aboutit à un sol dont le profil-type moyen est le suivant :

Après un horizon superficiel comprenant en moyenne 45 p. 100 d'éléments grossiers dans une texture de limon très sableux à sable fin, de couleur beige orangée, de réaction neutre, moyennement riche en

matières organiques (pour la région), et un horizon intermédiaire, vient le gapan rouge à 85 p. 100 de galets et graviers, dont la texture de la terre fine est un limon argilo-sableux comme celle du gapan classique.

4° Sols bruns de la région Sud et Sud-Ouest.

Cette zone se singularise par la répartition et la composition anarchique de ses sols. Alors que nous avons observé sur la Costière « plate » une superposition monotone d'un apport éolien homogène à un diluvium présentant aussi une certaine constance dans sa composition, ce qui faciliterait notre essai d'interprétation pédogénétique, nous nous trouvons ici placés devant une mosaïque complexe de faciès incartographiable qu'il est impossible de représenter par des moyennes.

On y observe en particulier les complexes suivants :

— *Sol brun de sable et cailloutis sur sol rouge ou rouge lessivé de cailloutis* (*demi-gress à gapan ou demi-gress sur gress à gapan*).

C'est le complexe qui occupe la plus grande surface ; il a toutes les caractéristiques d'un demi-gress à gapan avec une légère différence dans la granulométrie de l'horizon de surface qui porte nettement la trace des sables astiens ou villafranchiens tout proches ; en réalité les sables qu'on y observe sont vraisemblablement une origine éolienne avec transport à très faible distance. Il peut également y avoir mélange avec un lœss authentique ; on a alors un : *sol brun de sable ou de cailloutis à lentilles et de lœss sur sol rouge ou rouge lessivé de cailloutis* (= *brun sur gapan et brun sur gress à gapan*).

— *Sol brun de sable et cailloutis sur grès.*

Le faciès astien est en effet parfois interrompu par des bancs de grès non continus.

— *Sol brun lessivé de marnes à accumulation calcaire.*

Cas analogue avec lessivage des éléments fins.

— *Sol brun calcaire de sable se lessivant.*

Résultat d'un lessivage ménagé des carbonates.

— *Brun de cailloutis sur sol rouge de sable* (= *Sol brun de cailloutis sur gapan sans cailloux*).

Le « sol rouge de sable astien » constitue en fait une des formations caractéristiques et assez inexplicable de cette partie du diluvium villafranchien. Nous l'avons appelé « *gapan sans cailloux* » en raison de sa similitude avec la fraction fine du gapan, et la nature identique des argiles qu'on y trouve. Il est représenté comme un Astien rubéfié, mais en fait, ce sont des proches sableuses rubéfiées du cailloutis Villafranchien.

La deuxième fraction remarquable est l'argile de Celleneuve qu'on rencontre, comme la première, en poches plus ou moins importantes, ou bien en bancs dans des situations voisines et quelconques.

Gapan sans cailloux (1).

On y trouve quelques galets très rares dans un limon argilo-sableux rouge de pH 5,8 ; les argiles sont principalement des minéraux interstratifiés à 14 Å avec de l'illite et de la kaolinite. On pourrait à la rigueur expliquer cette formation comme une poche d'Astien enrichi des produits de l'altération du cailloutis superficiel. En effet, nous avons pu observer dans l'Hérault (Rive droite de l'Orb) un sable argileux rouge identique sous un cailloutis où les éléments cristallins (granites-pegmatites-variolites-gneiss-micaschistes, etc.), assez nombreux, étaient à peine reconnaissables, de plus l'enrichissement en argile rouge du banc de sable astien qui servait de substratum à l'ensemble était maximum au contact du cailloutis et décroissait régulièrement vers le bas.

Une justification, plus proche de nous celle-ci puisqu'il s'agit d'un profil observé dans la commune de Bellegarde, nous est fournie par un gress à 61 p. 100 de galets et graviers (sable fin limoneux, beige brun, non calcaire) reposant sur un limon argilo-sableux rougeâtre, sans éléments grossiers, non calcaire, suivi d'un sable astien jaunâtre calcaire. Les conditions sont donc strictement les mêmes et la migration des argiles rouges de néoformation dans un sable décarbonaté est probable ; il est remarquable d'insister sur le fait que cette migration ne semble avoir lieu qu'en milieu acide ou neutre. Quand le matériau est calcaire, il y a blocage au niveau basique et cette observation est générale sur tous les bords du canal.

Argile de Celleneuve (contribue à l'endohydromorphie de certains gress à gapan).

C'est une formation géologique connue comme étant d'origine lacustre, mais dont s'explique à première vue assez mal la présence ici au voisinage immédiat des poches de « gapan sans cailloux ».

Dans la zone qui nous intéresse, cette argile forme à la base du diluvium :

— des poches lenticulaires de 50 cm à 1 m, nettement différenciées du cailloutis et complètement dépourvues d'éléments grossiers, ainsi que des lits épais souvent obliques et brutalement interrompus latéralement ;

— intimement mêlées au cailloutis, des zones où la matrice est plus abondante que dans la masse du diluvium.

Cette argile est grise, non calcaire ; en se desséchant, elle reste agrégée en gros polyèdres ou en prismes fortement structurés, elle contient de l'azote « fossile » (N total 0,07, carbone : 0,03), en ce qui confirmerait son origine lacustre ou palustre ; on y voit aussi des nodules de calcaire farineux très blancs et très individualisés entourés parfois d'une légère pellicule d'oxyges ferriques rouges.

(1) Sur la carte, représenté par la couleur rouge et le signe « sable ».

La texture est plus lourde que celle du gapan (argile à argile sableuse), le pH voisin : 6,8, la couleur gris verdâtre avec une structure très bien formée en polyèdres marbrés d'oxydes métalliques souvent très noirs sur les interfaces. Les minéraux argileux qu'on y trouve sont bien différents de ceux du gapan sans cailloux (mélangé de Montmorillonite et de minéraux micacés interstratifiés de 10 Å et 10 Å), ce qui prouve une origine différente. A une exception près cette argile de Celleneuve n'a pas été singularisée sur la carte, mais sa présence peut souvent y être soupçonnée car elle engendre l'hydromorphie.

En admettant son origine lacustre, sa présence ici au voisinage immédiat du gapan sans cailloux peut être expliquée d'une façon assez logique si l'on a pu comme nous observer sur les flancs du Canal du Bas-Rhône, l'extrême perméabilité des bancs ou des poches de sables astiens qui servent de zones préférentielles aux eaux de percolation, comparée à la quasi imperméabilité de l'argile de Celleneuve, créant les conditions asphyxiantes lui donnant cette couleur gris verdâtre.

Si l'on admet donc l'origine lacustre ou palustre de cette argile verdâtre, à la faveur de bras morts du fleuve anastomosé lors du dépôt dilluvial, on peut très bien admettre (et l'observation le prouve) des dépôts contigus de sables sous formes de bancs ou de lentilles. Le dépôt étant terminé et toute la région exondée comme on l'a vu, les poches d'argile ne pourront évoluer que vers l'endohydromorphie alors que les poches de sable serviront de zone préférentielle aux eaux de lessivage du sol rouge qui s'est formé dans le cailloutis superficiel et capteront au fur et à mesure les argiles rouges néoformées.

III. — Sols à encroûtement calcaire.

En matière de pédogénèse, il est difficile de fournir des preuves et c'est surtout l'observation répétée des profils qui permet de dégager les hypothèses qui sont ou ne sont pas confirmées ensuite par une observation systématique. Dans ce domaine, il apparaît évident que dans la région étudiée il existe deux sortes d'encroûtement calcaire :

— un encroûtement d'origine superficielle par lessivage du calcaire des horizons superficiels, à répartition très irrégulière formant guirlandes sur les tranchées du canal, et qui suit toujours approximativement la topographie,

— et un encroûtement d'origine hydrologique, qui se trouve dans les zones basses, sub-horizontal et parfois très épais, manifestement sans relations avec le sol qui le surmonte, dans certains sols exohydromorphes où son origine est calcimorphe.

Dans ce paragraphe, nous ne parlerons que du premier genre d'encroûtement le deuxième n'apparaîtra que dans le paragraphe consacré

aux sols hydromorphes complexes où il ne constituera qu'un facteur secondaire.

Dans la région étudiée, il faut distinguer entre l'encroûtement au niveau de cailloutis plio-quaternaire, produit par le lessivage du lœss et qui cimente des éléments roulés de formes très arrondies de quartzite et de quartz, aboutissant ainsi au *taparas* sorte de poudingue pédologique, et celui qui se fixe dans le colluvium de solifluxion, par lessivage du complexe lœssique, cimentant entre eux les éclats gélivés à angles vifs du calcaire hauterivien, donnant ainsi le *Sistre*, sorte de brèche de néoformation.

Sols à taparas.

1° Sol complexe.

Sol rouge lessivé de cailloutis à encroûtement (*Gress à taparas*).

Le cas du « gress à taparas » est rare et la croûte y est « physiologiquement » du cailloutis consolidé et non pas du taparas strictosencu puisqu'il n'y a pas de lœss, surtout s'il existe un horizon intermédiaire de gapan. En général, le cailloutis consolidé existe sous le gapan, mais beaucoup plus bas.

2° Sols complexes superposés.

Les cas les plus généraux sont les sols bruns à taparas ou les demi-gress à taparas puisque le calcaire de ce poudingue de néoformation provient du lœss.

Le calcaire provenant du lessivage du lœss est venu former un encroûtement au niveau du cailloutis reposant le plus souvent sur le gapan rouge classique. On a donc affaire à des sols complexes superposés.

a) *Sol brun de loess et cailloutis à encroûtement* (= *demi-gress à taparas*).

Parfois on observe entre l'horizon supérieur 1 et le taparas un horizon moyen 2 de gress calcaire ou de gapan qu'a pu traverser le calcaire provenant du loess. On obtient alors un demi-gress à gapan sur taparas, cas assez exceptionnel, mais qui mérite d'être signalé, c'est un : *Sol brun de loess et cailloutis sur sol rouge de cailloutis à encroûtement* (*demi-gress à gapan sur taparas*).

Le calcaire provenant du lessivage du lœss est passé à travers le gapan (décarbonaté) pour venir consolider le cailloutis sous le gapan. Il est donc intéressant de noter que si les argiles rouges sont bloquées dans leur migration par un horizon calcaire, par contre le calcaire peut migrer à travers un gapan et même s'y localiser par endroits comme nous allons le voir.

b) *Sol brun calcaire de læss à encroûtement.*

Ce type de sol se compose d'un horizon superficiel ayant toutes les caractéristiques du sol brun calcaire de loess classique et qui repose soit directement, soit par l'intermédiaire d'un horizon plus pâle riche en pseudomycélium et poupées, sur le taparas.

c) *Sol brun (ou brun lessivé) de læss (lehm) à encroûtement (= lehm à taparas).*

Les sols bruns lœssiques (lehm) que nous avons étudiés dans la première partie peuvent comporter un encroûtement calcaire ; il existe d'ailleurs tous les intermédiaires entre les différents types cités qui permettent de mieux saisir le processus de formation et c'est ainsi, en particulier, que pour les sols à taparas on peut trouver la croûte soit en dessous d'un lehm et au-dessus d'un gapan (lehm à taparas sur gapan), cas déjà étudié, soit diffus en certains points du gapan sous lehm (cas rare), soit enfin sous le gapan surmonté lui-même d'un lehm : dans ce cas, c'est un : *Sol brun de læss sur sol rouge du cailloutis à encroûtement (= lehm sur gapan à taparas).*

Sols à Sistre.

Ayant ainsi épuisé toutes les solutions possibles et effectives, il nous faut passer au deuxième cas, beaucoup plus simple, du *Sistre.* En fait, la description sera très courte car on ne trouve que deux combinaisons possibles :

a) *Sol brun calcaire de complexe lœssique à encroûtement (brun calcaire à Sistre).*

b) *Sol brun de complexe lœssique à encroûtement (sol brun à Sistre.)*

L'explication de ces phénomènes est moins aisée car si dans certains cas de Sistre peu épais, il peut s'agir du même processus que pour le taparas, à savoir le lessivage des horizons supérieurs avec concrétion à un niveau d'équilibre, il en existe de nombreux où la puissance de l'encroûtement comparée à la minceur du sol qui le surmonte, parfois non décarbonaté, impose de rechercher une explication ailleurs. On pourrait faire appel à l'interprétation donnée pour les taparas calcimorphes, mais la situation topographique en pente des sistres en question nous induit plutôt à penser qu'il s'agirait de « *tufs de pente* ».

IV. — Sols complexes à hydromorphisme.

De nombreuses combinaisons sont possibles, parmi lesquelles il faut distinguer entre les phénomènes d'exo ou d'endohydromorphisme, point capital son seulement pour la mise en valeur mais également pour la pédogénèse.

Sols complexes à exohydromorphisme.

1° Sols complexes

a) *Sol genohydromorphe sur cailloutis.*

Il s'agit de cuvettes imperméables dans le cailloutis remplies par des alluvions variées lœssiques en général, et hydromorphisées. Elles sont de petite dimensions et de forme arrondie.

b) Sol hydromorphe lœssique sur encroûtement (= *sol hydromorphe à taparas*).

Nous en avons parlé lors des hypothèses relatives à la formation du taparas quand il est créé par la calcimorphie.

c) *Sols hydromorphes de lœss et cailloutis* (= *demi-gress hydromorphes*).

d) Sol hydromorphe de cailloutis sur ancien sol hydromorphe.

Il s'agit d'un cas spécial où le sol genohydromorphe a été recouvert d'un apport colluvial de cailloutis plio-quaternaire.

2° Sols superposés.

Sol brun de lœss sur ancien sol hydromorphe.

Un sol brun lœssique s'est développé sur l'ancien sol palustre.

Sols complexes à endohydromorphisme.

a) *Sol brun de lœss endohydromorphisé.*

Bien que la texture soit légère, la structure massive et peu aérée créé des conditions d'asphyxie dans les horizons profonds qui sont toujours humides même en été. On peut y observer des taches de réduction et les racines n'y descendent pas. Le drainage est impuissant dans un cas pareil et il faut envisager l'enfouissement profond de matières organiques et le sous-solage profond.

b) *Sol rouge lessivé de cailloutis endohydromorphisé* (= *gress à gapan réduit*).

Il se présente comme un gress à gapan normal si ce n'est que l'horizon profond argileux est caractérisé par une argile sableuse de couleur jaunâtre ou rouge bariolée de jaune et de gris où la belle couleur de l'hématite semble quelquefois entièrement remplacée par celle d'oxydes beaucoup plus hydratés comme la stilpnosidérite ou la limonite. On trouve également des pisolithes de manganèse ou tout au moins des galets tachés de noir : dans ce profil presque toujours humide, les radicelles ne descendent souvent pas jusqu'au fond ou bien sont mortes.

c) *Sol rouge lessivé de cailloutis sur argile de Celleneuve* (= *gress à gapan réduit, type spécial*).

Ce gress sur argile de Celleneuve présente un niveau profond complètement endohydromorphisé jaune verdâtre, sans cailloux et de texture très lourde (argile à argile sableuse). Il constitue un sol particulièrement difficile à traiter.

V. — Sols complexes et sols superposés divers.

En dehors des cas classifiables, on trouve encore de nombreuses superpositions qui peuvent former des complexes à 3 formations.

1° Sol brun de lœss sur sol rouge du cailloutis, a accumulation calcaire, cas où l'encroûtement ne s'est pas réalisé.

2° Sol brun de sable pliocène sur sol rouge du cailloutis sur sable astien calcaire.

Les autres mélanges à 2 formations sont les suivants :

— Sol brun de colluvium de cailloutis à lentilles et de sable sur sable calcaire.

— Sol brun de lœss sur sol brun calcaire de lœss et cailloutis.

— Sol brun de loess à tendance hydromorphe sur encroûtement dans le cailloutis.

— Sol brun de sable et lœss sur brun calcaire de sable et cailloutis à encroûtement.

— Sol brun de lœss et sable sur horizon rouge du cailloutis à encroûtement.

— Sol brun de sable de lœss et de cailloutis à encroûtement.

— Sol brun du complexe lœssique sur cailloutis à encroûtement.

— Sol brun calcaire de lœss sur sol brun calcaire de lœss et cailloutis à encroûtement.

— Sol brun calcaire de cailloutis et sable sur cailloutis à encroûtement.

— Sol brun calcaire de cailloutis et sable.

— Sol brun calcaire de lœss et sable sur sol rouge du cailloutis.

— Sol brun calcaire de sable sur sol rouge du cailloutis.

— Sol brun calcaire de sable et de cailloutis sur sol brun de sable et de cailloutis.

— Sol brun calcaire du complexe lœssique sur encroûtement du cailloutis.

— Sol brun lessivé de sable et de cailloutis sur horizon d'accumulation calcaire.

— Sol brun lessivé de lœss et de sable pliocène sur sol rouge de cailloutis.

— Sol brun lessivé de sable et de lœss sur accumulation calcaire dans un complexe de sable — lœss et cailloutis.

— Sol brun lessivé de lœss et sable sur sol rouge du cailloutis.

— Sol brun lessivé de lœss sur cailloutis à accumulation calcaire.

— Sol brun lessivé du complexe lœssique sur horizon de lœss et cailloutis à accumulation calcaire.

— Sol rouge du cailloutis plio-quaternaire sur sable calcaire.

C. — PLACE DES SOLS DÉCRITS DANS LA CLASSIFICATION INTERNATIONALE

* Ordre des sols évolués.

o Classe des sols à Mull.

\+ Groupe des sols lessivés.

— Sous groupe des sols bruns et bruns légèrement lessivés.

= Famille des lœss.

. Sol Brun lessive de Lœss ou Lehm.

\+ Groupe des sols bruns tempérés.

— Sous groupe des sols bruns uniformes.

= Famille des lœss.

. Sol Brun de Lœss ou Lehm.

= Famille du Complexe lœssique.

. Sol Brun de Complexe lœssique.

= Famille des sables et des marnes.

. Sol brun de sables et de marnes sableuses.

— Sous groupe des sols bruns à croûte calcaire.

= Famille des lœss.

. Lehm à Taparas.

= Famille des complexes lœssiques.

. Sol brun à Sistre.

o Classe des sols ferrugineux.

\+ Groupe des sols rouges.

— Sous groupe des sols rouges lessivés s. s.

= Famille du diluvium alpin : . Gress à Gapan.

: Types et variétés :

. Gress caraban.

. Gress blond.

— Sous groupe des sols rouges lessivés à horizon d'accumulation calcaire.

= Famille du diluvium alpin : . Gress à tapras.

o Classe des sols calcimorphes.

\+ Groupe des Rendzines.

— Sous groupe des sols bruns calcaires uniformes.

= Famille du Lœss.

= Famille des sables et des marnes.

= Famille du complexe lœssique.

= Famille des alluvions.

— Sous groupe des sols bruns calcaires à croûte calcaire.

= Famille des lœss sur cailloutis.

. Lœss à taparas.

= Famille du complexe lœssique.

. Sistre

— Sous groupe des Hydromorphes à tendance Brun calcaire.

\+ Groupe des hydromorphes.

— Sous groupe des Hydromorphes calcimorphes vrais.

= Famille des Hydromorphes calcimorphes s.s.

= Famille des Hydromorphes à croûte.

— Sous groupe des Bruns calcaires à tendance Hydromorphe.

o Classe des Hydromorphes.
≠ Sous classe des sols Exohydromorphes (causes d'hydromorphie externes).
+ Groupe des sols Génohydro morphes (hydromorphie originelle ou fondamentale).
+ Groupe des sols à hydromorphie accessoire ou de nappe = Exohydromorphes s.s.
= Famille des lœss hydromorphes.
= Famille des Gress hydromorphes etc.
≠ Sous classe des sols Endohydromorphes (Causes d'hydromorphie interne).
+ Groupe des Endohydromorphes à profil hétérogène (hydromorphie mécanique).
= Famille des Gress sur argile de Celleneuve.
= Famille des sols à croûte, hydromorphisés.
= Famille des sols hydromorphes à alios ferrugineux.
+ Groupe des endohydromorphes à profil homogène.
= Famille des lœss endohydromorphes.

* Ordre des sols peu évolués.
o Classe des sols bruts minéraux.
≠ Sous classe des sols bruts non climatiques.
+ Groupe des sols bruts d'érosion (sur formations meubles).
— Sous groupe des sols jeunes lithochromes.
= Famille des sols jeunes de lœss.
= Famille des sols jeunes de sables et de marnes.

Il est bien évident que de nombreux groupes, sous groupes et tribus manquent dans cette nomenclature, c'est qu'ils ne sont pas représentés dans la région, comme par exemple le groupe des sols bruts alluviaux, le sous groupe des sols squelettiques (sur formations dures), etc.

CONCLUSION

MISE EN VALEUR DES SOLS

A. — CONSIDÉRATIONS RELATIVES A L'IRRIGATION

a) Certaines précautions dans la *technique de l'irrigation* découlent de l'état *de la structure* observée sur les profils et matérialisée par le tableau II (p.764).

Considérée sous l'angle de l'irrigation, la stabilité structurale des gress à gapan est satisfaisante, et celle des anciens sols hydromorphes calcimorphes excellentes. C'est ce qui apparaît bien à l'œil car on peut y voir des horizons très structurés. La densité apparente de tels sols est faible et la perméabilité acceptable. Il est aisé de les irriguer et leur mise en valeur par l'irrigation ne pose pas de problèmes difficiles à résoudre. C'est le cas des sols de la Vistrenque où l'on fait déjà du maraîchage depuis longtemps sans accident.

Par contre, les sols lœssiques qui représentent une très grosse superficie du secteur, et les sables astiens beaucoup moins répandus, sont instables. A l'œil, ils apparaissent mal structurés et « battants » ; l'analyse ne fait malheureusement que confirmer cette observation et leur mise en valeur par l'irrigation demandera beaucoup de soins et de surveillance.

La destruction des agrégats, après arrosage, la séparation des éléments fins et des éléments grossiers et l'accumulation de ces éléments fins à un niveau non travaillé (semelle de labour) risquent de créer une imperméabilité néfaste, de rendre les travaux aratoires difficiles et d'accélérer l'érosion éolienne. Les récoltes pourraient en souffrir.

Pour remédier à ces inconvénients, il faut prévoir des apports massifs et répétés de matières organiques avec enfouissement profond, fumier ou engrais verts annuels, et alterner une culture irriguée avec des périodes de repos en sec assez longues pour assurer la régénération des agrégats.

Il est indispensable également de suivre l'évolution des sols de très près en des points repérés et analysés à l'avance, et de procéder parallèlement à des essais agronomiques variés tendant à améliorer la structure du sol par des modes de cultures appropriées.

b) La *topographie* d'une part, *la granulométrie* et la profondeur des profils d'autre part permettent de tirer des conclusions en ce qui concerne *le mode d'irrigation qui doit être utilisé.*

Dans son ensemble, le périmètre est relativement facile à irriguer du point de vue topographie à part quelques pentes comme le rebord Nord de la Costière.

La morphologie est typiquement celle d'un plateau sub-horizontal pour la Costière et d'une dépression aplanie pour la Vistrenque. Mais, en dépit de ce facteur favorable, même si une surface paraît horizontale, son irrigation par corrugation et plus encore par submersion nécessite un nivellement rigoureux. Or, ce nivellement est sinon impossible dans tous les cas qui nous intéressent, du moins fortement déconseillé ; il n'est admissible que dans la Vistrenque, et encore dans des limites modérées.

Partout ailleurs, il ne doit être envisagé qu'avec de très grandes précautions, soit, parce que les horizons très caillouteux qui servent de substratum à la Costière risquent d'être remis en surface dans une zone lœssique, soit pour éviter de dénuder le taparas épais et résistant qui pourrait exister à une faible profondeur. On peut à la rigueur concevoir un planage très modéré pour les gress à gapan sans taparas, mais il ne paraît pas justifié puisque précisément dans ce cas de sol très caillouteux, l'irrigation par aspersion semble seule pouvoir techniquement donner satisfaction au stade de l'utilisateur. Les modules délivrés par une irrigation à la raie dans de telles conditions devraient être très importants et utilisés sur des longueurs réduites. L'efficience serait faible conduisant à une perte d'eau et à une dépense exagérée.

Ces considérations conduisent à préconiser l'arrosage en pluie artificielle, car le périmètre compte plus de 50 p. 100 de sols très caillouteux. Les autres formations reposant sur un substratum caillouteux le nivellement est à éviter dans toute la mesure du possible. Si l'on reprend la liste

des différents types de sol, on voit que la quasi totalité réclame l'aspersion :

— Gress : Trop caillouteux pour permettre l'irrigation à la raie ou par planches.

— 1/2 gress : Le nivellement est nettement déconseillé car il risque de mettre en surface l'horizon inférieur, très caillouteux.

— Sol à taparas : Le nivellement est d'autant plus néfaste que le taparas se trouve proche de la surface.

— Sol brun et brun calcaire : Reposent toujours sur un substratum très caillouteux plus ou moins profond le nivellement comporte des risques. D'autre part les doses doivent pouvoir être précises pour éviter toute percolation profonde.

— Sols de sables et marnes : Etant situés dans une des rares zones à relief vallonné du périmètre, il n'est pas conseillé d'envisager leur nivellement qui devrait toujours être très important et mettrait souvent à jour des bancs gréseux.

— Sols hydromorphes (calcimorphes) : Leur nivellement léger est possible (aménagement de planches pour le riz par exemple), mais des terrassements trop prononcés mettraient en surface l'horizon d'accumulation calcaire, dont le pourcentage est très élevé.

— Sols du complexe lœssique : Leur position topographique et parfois leur pourcentage élevé d'éléments grossiers ou la présence de sistre sont autant de facteurs qui semblent en faveur du maintien de leur surface actuelle.

c) La question du *drainage* devra être traitée dans son ensemble comme le montre la relative abondance des sols franchement hydromorphes et des sols à tendance hydromorphe dont l'irrigation mal conduite accélèrera l'hydromorphisme.

Mis à part ce phénomène déjà nettement préjudiciable à la mise en valeur, en augmentant le bilan hydrique de toute la région, l'irrigation relèvera le coefficient udométrique tout au moins en début de période pluvieuse survenue après une campagne d'irrigation. Or, on sait que l'évacuation des eaux superficielles pose déjà des problèmes aigus pour la Vistrenque, et les cuvettes de Jonquières, Campuget, etc.

Il sera donc sans aucun doute nécessaire d'aménager les émissaires pour éviter que l'irrigation n'aggrave certaines situations délicates à cet égard, en faisant encore remonter un plan d'eau déjà trop près de la surface en période normale (sols exohydromorphes) et en provoquant des inondations en période pluvieuse.

B. — CONSIDÉRATIONS RELATIVES A LA CULTURE

a) Le tableau III (p.765) indique la *répartition des bases échangeables* pour certains types des sols étudiés, exprimés en milliéquivalents pour 100 g. de terre fine. C'est la somme des cations échangeables et T la capacité d'échange moyenne à pH 7.

Ces résultats permettent de constater les faits suivants :

— tous les sols sont abondamment pourvus en *calcium* ; il en est de même pour les sols lœssiques lessivés (lehm). Les chaulages ne sont donc pas nécessaires, à part certains cas de gress très acides (gress « Caraban »). Dans la majorité de ces acidifications des engrais calciques seront suffisants.

— Tous les sols sont très pauvres en *Sodium*, sauf l'horizon profond du sable astien qui en contient une petite quantité arrivant à représenter 11 p. 100 du complexe. Cela n'a évidemment aucune conséquence pratique, mais permet cependant d'expliquer que ce sable d'origine marine ait conservé suffisamment de sodium pour que des plantes phéhalophyles comme le tamarix ou atriplex halimus sachent le trouver.

— Les sols sont en général assez pauvres en *Potassium*, mais d'un potassium échangeable difficile à extraire puisqu'il a même résisté au lessivage auxquels furent soumis les gress caraban. Il faudra donc ajouter du potassium soluble pour les cultures. Le sol le plus pauvre est sans conteste, le sable astien.

— Le *Magnésium* enfin, dont l'action dans le sol est toujours discutée (alcalis magnésiens) est assez abondant, mais sans répartition significative.

b) De nombreuses études ont analysé *l'orientation agricole* à donner aux différentes terres. Il faut signaler en particulier le rapport de la Direction des Services Agricoles du Gard de janvier 1952 que l'on peut prendre comme base de référence. Les exemples observés sur le terrain ont en outre permis de préciser quelquefois une opinion ou bien de l'élargir. Enfin l'observation des profils et l'examen des analyses permet de bien connaître les possibilités agricoles d'un sol.

Quoiqu'il en soit, ce n'est pas le but de cette note réservée à des considérations d'ordre pédologique : c'est la raison pour laquelle nous avons proposé des modalités de l'irrigation directement en fonction des caractéristiques pédologiques du sol et pouvant avoir une action sur lui (nivellement, lessivage, érosion, etc.). C'est également la raison pour laquelle nous avons indiqué la structure et le complexe absorbant. C'est enfin la raison pour laquelle nous passerons sous silence les considérations d'ordre purement cultural.

Reçu pour publication en octobre 1958.

RÉSUMÉ

Les auteurs donnent un aperçu général sur la morphologie, la climatologie, la géologie et la pédogénèse de la région naturelle des Costières du Gard et de la Vistrenque. Puis ils décrivent en détail les types de sols rencontrés dans cette région et donnent des conclusions générales sur la mise en valeur de ces sols.

La technique de l'irrigation doit découler de l'état de la structure observée, le mode d'irrigation utilisé doit tenir compte de la topographie d'une part, de la granulométrie et de la profondeur des profils d'autre part.

Les sols étudiés sont abondamment pauvres en calcium, ils sont très pauvres en sodium et en général assez pauvres en potassium.

SUMMARY

A soil survey on a 1/50.000 scale, of the Costière du Gard and Vistrenque regions.

A general description is given of the morphology, climate, geology and soil formation in the natural regions of the Costière du Gard and Vistrenque. The soil types are described in some detail, and general conclusions in respect of the utilization of the soils are discussed.

Irrigation techniques should depend on the structural conditions of soils, and the method of irrigation applied should take into account the topography on the one hand, and the texture and depth of the profiles on the other.

The soils investigated are rather poor in calcium, very poor in sodium and generally quite poor in potassium.

Педологическое изучение в масштабе 1 : 50.000 *районов* « Costières du Gard » *и Вестренк.*

Ж. Р. ДЕЗОНЕТ и Ж. ВИНЬЕРОН (Nîmes).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Авторы делают общий обзор морфологии, климатологии, геологии и почвообразования естественной области « Costières du Gard » и Вестренк. Затем они подробно описывают почвенные типы, встреченные в этой области и делают заключения общего характера относительно использования этих почв.

Техника орошения должна основываться на состоянии структуры почвы; применяемый способ орошения должен иметь в виду с одной стороны топографию, с другой стороны гранулометрию и глубину профилей.

Изученные почвы щедро снабжены кальцием, но они очень бедны натрием и, в большинстве случаев, довольно бедны калием.

ZUSAMMENFASSUNG

Bodenkundliche Untersuchungen im Massstabe 1/50.000 der « Costière du Gard » und der « Vistrenque ».

Die Verfasser geben einen allgemeinen Überblick der Morphologie, der Klimatologie, der Geologie und der Bodenentwicklung der « Costière du Gard » und Vistrenque Gegend. Danach werden die in dieser Gegend gefundenen

Bodentypen ausführlich beschrieben und allgemeine Folgerungen über die landwirtschaftliche Verwertung dieser Böden gezogen.

Die Bewässerungstechnik soll sich aus dem beobachteten Strukturzustand ergeben, das benützte Bewässerungsverfahren muss einerseits die Topographie, andererseits die Korngrösse und die Tiefgründigkeit des Profils berücksichtigen.

Die untersuchten Böden sind meistens kalkarm, sehr matriumarm und ziemlich kaliumarm.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

André (J.). — Les phénomènes périglaciaires. Afes, nº 91, oct. 1957.

Aubert (G.). — Cours de pédologie général, professé à l'I. D. E. R. T. (Orstom). Les sols à croûte calcaire Cr. Congrès pédologie méditerranéen 1947.

Aubert (G.) et Duchaufour (Ph.). — Projet de classification des sols. CR. du VIe Congrès International de la Science du sol, Paris, 1956, Vol. E, pp. 597-604.

Desaunettes (J.) et Vigneron (J.). — Rapport de l'étude pédologique de la Costière du Gard et de la Vistrenque (non publié). 1957

Derruau (M.). — Précis de Géomorphologie (Masson éd).

Durand (J. H.). — Etude géologique, hydrologique et pédologique des croûtes en Algérie. Publication du S. C. H.

Duchaufour (Ph.). — Pédologie. Applications forestières et agricoles. Ed. Ecole Nationale des Eaux et Forêts.

Ehrart. — La genèse des sols en tant que phénomène géologique (Masson éd.).

Fournier, Moulinier, Moureaux. — Quelques aspects de la Science du sol aux U. S. A. (Rapport de mission).

Guenelon (R.). — Étude d'une poche d'argile rouge en relation avec une roche mère calcaire. Afes, nº 91, oct. 1957.

Kubiena. — The soils of Europe. Ed. Th. Murfy. London.

Marcelin (P.). — I. Terres et sol en Costières. Chez l'auteur.Observations sur des terres et sols en région méditerranéenne.

Schwobtaler et Vogt. — Aspects de la Morphogénèse plio-quaternaire dans le Bas-Rhône Occidental. Bulletin de la Sté. Géographique Languedocienne. Janv-Juin, 1955.

DOCUMENTATION

II. — SOLS

B. — Propriétés chimiques.

631. 416. 4 : 631. 414. 3 (549)

KARIM (A. Q. M. B.) et MALEK (M. A.). — **Fixation du potassium dans les sols de l'est du Pakistan dans différentes conditions.** (Potassium fixation in east Pakistan soils under different conditions). *Soil Science*, volume 83, mars 1957, nº 3, p. 229-238.

L'est du Pakistan comprend principalement des limons sableux, des limons argileux et des sols limoneux qui sont capables de fixer le potassium pendant une période de 60 jours, à partir de sels potassiques (sulfate de potassium, chlorure, nitrate et carbonate de potassium) à la moyenne respective de 56,5, 61,8. 69,1 et 55,0 pour cent du potassium ajouté.

La fixation du potassium augmente avec le temps de contact et la plus forte intensité de fixation se situe vers la fin de la période de 60 jours.

De tous les sels potassiques, le carbonate donnerait la fixation la plus forte. Il y aurait une relation entre le calcium échangeable du sol et la fixation du potassium à partir du sulfate et du carbonate de potassium ; en effet cette fixation est d'autant plus grande qu'il y a plus de calcium échangeable. Il en est de même pour les quantités de K fixées à partir de KCl et de KNO_3.

La nature de l'argile joue un rôle dans la fixation.

Le superphosphate et la chaux entraîneraient un accroissement de la fixation qui serait plus importante cependant en présence de superposphate. Le sulfate d'ammonium par contre retarderait cette fixation.

Un abaissement du pH conduit à une diminution de la fixation.

La température favoriserait la fixation, et dans ces expériences, les auteurs ont trouvé 105°C comme température optima.

La présence de matière organique dans le sol entraîne une diminution de cette fixation.

G. S.

D. — Rapport avec les cultures.

633. 2. 03 : 581. 43 : 631. 484

HAUSSMANN (G.) et CHISCI (G.). — **Premières observations sur l'évolution de la fertilité dans les gazons de prairies.** (Prime osservazioni sull'evoluzione della fertilita nelle cotiche monifite di graminacee pratensi). *Annal. d. Sperimentaz. Agrar.*, p. 1483 à 1514. Vol. XII, nº 5.

Les auteurs ont poursuivi une série de recherches sur les prairies ensemencées en graminées, sous l'angle des caractéristiques du système radiculaire en relation avec la formation de l'humus et de la structure.

Les éléments pris en considération ne s'avèrent pas suffisants pour établir une distinction entre les différentes espèces étudiées quant à leur action génératrice de structure. Mais les recherches préliminaires ont permis d'éclairer quelques rapports fondamentaux entre l'évolution dans le temps de la structure et celle du gazon (indépendamment de l'espèce qui le constitue). En outre, ils ont fourni une interprétation plus exacte de la baisse des rendements d'une graminée de trois ans : accumulation de matière organique non décomposée, position de plus en plus superficielle des racines, carence en éléments minéraux et humus actif et par conséquent arrêt dans la formation des microagents stables.

S. M.

636. 086. 2 : 581. 192. 1 : 546. 18 + 546. 41 : 631. 415. 2

BOTTINI (E.) et LIBERO (A.). — **La richesse en calcium et phosphore des foins de la « vauda » de Turin.** (La ricchezza in calcio e fosforo dei fieni prodotti nella « vauda » torinese). *Annal. d. Sperimentaz. Agrar.*, p. 1127 à 1155. Vol. XII, nº 4.

Les auteurs ont étudié la qualité des fourrages produits dans une zone de terrains acides du quaternaire aux environs de Turin. Ils ont mis en évidence que les carences et les anomalies de constitution chimique des sols sont nettement reproduites dans les végétaux, spécialement en ce qui concerne le calcium et le phosphore.

S. M.

633. 2/3 : 636. 085. 2 : 631. 67 + 631. 8 (45)

FABRIS (A.) et ALBONICO (F.). — **Effets de l'irrigation et de la fertilisation sur la production et la qualité de quelques cultures fourragères en Campanie.** (Travaux effectués en 1955). (Effetti dell'irrigazione e della concimazione su l'entita della produzione et la qualita di alcune colture foraggere nella Campania. Indagine condotta nel 1955). *Annal. d. Sperimentaz. Agrar.*, p. 1205 à 1247. Vol. XII, nº 4.

L'expérimentation a été effectuée sur luzerne et trèfle ladino dans la plaine de Sele.

L'effet de l'irrigation s'est fait sentir sur la quantité et la qualité de la production végétale.

Le climat a une action sur la teneur en carotène, en acide ascorbique et en chlorophylle. Les températures élevées ont une influence défavorable à ce point de vue. Par contre, l'irrigation provoque des teneurs élevées en vitamine et chlorophylle.

La fertilisation phospho-potassique de la luzerne s'est montrée sans influence sur la quantité et la qualité du fourrage produit.

S. M.

IV. — PRODUCTION VÉGÉTALE

B. — Physiologie végétale.

631. 811. 94 : 577. 15 : 581. 13

BOTTINI (E.). — **Le mécanisme de l'action des oligo-éléments sur l'activité enzymatique.** (Il mecanismo di azione degli oligoelementi sulle attivita enzimatiche). *Annal. d. Sperimentaz. Agrar.*, p. 1437 à 1448. Vol. XII, nº 5.

L'auteur discute les données récentes sur les fonctions nutritives des oligo-éléments.

Il évoque les phénomènes d'activation enzymatique produits par les oligo-éléments, mettant en relief :

1° L'intervention de certains oligo-éléments dans la composition des enzymes.

2° L'effet catalytique de certains micro-éléments dans le transport d'électrons et d'oxygène.

3° La formation de complexes intermédiaires métallo-protéiques susceptibles d'accroître l'activité enzymatique.

4° L'intervention du magnésium dans le processus enzymatique de phosphorisation.

Il envisage enfin la teneur des sols d'Italie en oligo-éléments.

S. M.

633. 41 : 631. 811 : 631. 427. 3

BARBAGALLO (L.) et DI BENEDETTO (P.). — **Recherches sur la nutrition minérale de la betterave à sucre au moyen du diagnostic foliaire.** (Ricerche sulla nutrizione minerale delle barbabietole da zucchero attraverso l'analysi fogliare. Nota 1). *Annal. d. Sperimentaz. Agrar.*, p. 1387 à 1400. Vol. XII, n° 5.

Les auteurs donnent les résultats obtenus en deux années d'expérimentation sur betteraves à sucre en Sicile.

Ils ont recherché les relations entre la composition des feuilles et les possibilités d'alimentation du sol.

Ils signalent la nécessité d'identifier le point d'équilibre physiologique correspondant à la production maxima.

S. M.

D. — Divers.

633. 2/3 : 631. 563

MAYMONE (B.). — **Aspects particuliers de la conservation du fourrage.** (Aspetti particolari della conservazione dei foraggi). *Annal. d. Sperimentaz. Agrar.* Supplément p. CXV à CXLI. Vol. XII, n° 5.

Dans cette note sont exposées des données expérimentales sur la perte de matière sèche, de valeur nutritive et de protéines concernant des foins récoltés en Italie méridionale et conservés normalement ou par divers systèmes d'ensilage. Quelques expériences sur la déshydratation de la luzerne y sont également relatés.

L'auteur a mis en évidence les avantages et les inconvénients des différentes méthodes de conservation.

S. M.

633. 511 : 581. 133. 4 : 632. 151

OLSEN RALPH (A.). — **Absorption du SO_2 de l'atmosphère par le coton.** (Absorption of sulfur dioxide from the atmosphere by cotton plants). *Soil Science*, vol. 84, n° 2, août 1957, p. 107-111.

L'auteur a cultivé du coton dans des solutions nutritives contenant 0, 1, 2, 5, 10 et 50 pp m de sulfate. Le SO_2 de l'atmosphère est éliminé afin qu'il ne soit pas absorbé par les racines. Le sulfate des solutions nutritives est marqué avec

du ^{35}S pour permettre la détermination de la quantité de soufre absorbé par les plantes directement à partir de l'atmosphère. La croissance et la teneur en soufre des plantes est fonction de la concentration en sulfate des solutions nutritives.

Le SO_2 serait absorbé par les plantes directement à partir de l'atmosphère et cette absorption serait proportionnelle à la taille de la plante et dépendrait de la surface foliaire.

Pour les plantes normales, environ 30 p. 100 du soufre viendrait de l'atmosphère. Par contre chez les végétaux déficients en soufre, ce serait 50 p. 100. Pour obtenir une croissance satisfaisante du coton, il ne faut pas que le SO_2 de l'atmosphère constitue l'unique source de soufre, néanmoins il contribue pour une large part à l'alimentation des plantes en soufre.

G. S.

VII. — BIBLIOGRAPHIE

663. 1 (41-5)

LEDINGHAM (G. A.) et BLACKWOOD (A. C.). — **Review of industrial microbiology in British Commonwealth Countries.** London, H. M. Stat. Off., 158 p., 1958.

Le présent ouvrage fait suite à un vœu formulé en 1952 à la « British Commonwealth Scientific Conference », où il fut souhaité une collaboration plus étroite entre les différents pays du Commonwealth dans le domaine de la microbiologie industrielle. Ce volume groupe les résultats d'une enquête effectuée dans les pays suivants : Australie, Canada, Inde, Nouvelle-Zélande, Pakistan, Union Sud-Africaine, et Royaume Uni. Il indique, pour chaque pays, l'état actuel des recherches poursuivies par les différents laboratoires universitaires, d'état ou industriels, leurs projets, et les publications effectuées dans les divers secteurs de la microbiologie industrielle : produits chimiques obtenus par fermentation, produits pharmaceutiques, enzymes, aliments et boissons, protection des matériaux entre les attaques fongiques ou bactériennes.

M. L. C.

54 : 63 (02)

RENAULT (R.). — **Chimie agricole : t. 1 Chimie végétale, t. 2 La biosphère.** Paris, Eyrolles, Gauthier Villars, 486 et 556 p., 1955 et 1958.

Le tome 1, Chimie végétale, est composé de huit parties : Composition chimique de la plante. Nutrition végétale. La synthèse végétale. Le métabolisme végétal. Les biocatalyseurs végétaux. Biochimie des phénomènes végétatifs. Morphogénèse végétale et chimie. Chimie microbienne.

Le tome 2, la Biosphère, comprend les cinq parties suivantes : Phénomènes biosphériques. L'atmosphère. L'hydrosphère. La lithosphère. Agrotechnie.

Chacun des 2 tomes comporte des index alphabétiques des matières, des noms botaniques et des auteurs cités.

63 (213) (03)

TEMPANY (Sir H.) et GRIST (D. H.). — **An introduction to tropical agriculture.** London, Longmans, Green et C°, 1958, 347 p., 12 pl.

Contrairement à la plupart des ouvrages en la matière, qui traitent d'une culture donnée ou des conditions propres à certains pays, ce livre brosse un

tableau d'ensemble de l'agriculture tropicale, en montrant les principaux points qui la différencient de celle des régions tempérées.

La première partie (5 chap.) est consacrée à l'étude des facteurs (climatiques, pédologiques, économiques et sociaux) qui interviennent dans la formation du « faciès » agricole tropical.

Puis sont exposées, en 11 chapitres, les caractéristiques propres aux différentes opérations : conservation du sol, rotations et systèmes d'agriculture, engrais, façons culturales et lutte contre les mauvaises herbes, irrigation et drainage, amélioration des plantes, déprédateurs et maladies, production fourragère, zootechnie, traitement des récoltes, conservation des produits.

Enfin, dans les 3 chapitres de la dernière partie, sont examinés les problèmes économiques : marketing, transport, teneur du sol, financement, crédit.

Une bibliographie de plus de 200 titres (principalement anglo-saxons) et des illustrations judicieusement choisies viennent heureusement compléter un exposé clair et net.

L'ouvrage, agréable et facile à lire, rendra service non seulement aux étudiants, qui y trouveront une remarquable étude générale des principes de l'agriculture tropicale, mais encore aux techniciens des services agricoles et aux administrateurs des plantations.

D. K.

635. 9 : 632. 6/7

X. — **Narcissus pests.** Min. Agric. Fish. Food, London, Bull. n° 51, 37 p., 5e ed., 1958.

Destinée aux horticulteurs, cette publication du Ministère de l'Agriculture anglais passe en revue les principaux ennemis (insectes, acariens et nématodes) des narcisses, donnant pour chacun d'entre eux la biologie, les symptômes, et les méthodes de lutte. Une série de planches photographiques et une bibliographie complètent le bulletin.

631. 4 : 03

PLAISANCE (G.). — **Lexique pédologique trilingue.** Publié avec l'aide du C. N. R. S. Centre de Documentation Universitaire, 5, Place de la Sorbonne, Paris (5e). 1958. En vente chez l'auteur G. PLAISANCE, 14, rue du Collège, Dôle (Jura), C. C. P. Plaisance Dijon 326, 06. Prix : 1 500 francs.

Après la bibliographie des sols de France et la bibliographie des sols forestiers, du même auteur, voici le lexique pédologique trilingue, prélude au « Dictionnaire des sols ». Cet ouvrage ronéotypé. de 357 pages, comprend le lexique proprement dit, qui rassemble tous les termes s'appliquant au sol, dans le sens le plus large du mot ; un index anglais, un index allemand et un index international (les termes internationaux sont imprimés en capitales dans le lexique). Un appendice classe les différents termes par matière : formes du relief, granulométrie, structure, porosité, profondeur, etc. et donne les principaux préfixes et suffixes ainsi que les abréviations pédologiques usuelles dans les trois langues.

Ce lexique comprend donc les définitions de plus de 3 300 termes qui relèvent de la pédologie, mais aussi de la géologie, de la géomorphologie statique et dynamique, de l'érosion, etc...

Il dépasse ainsi de beaucoup tous les travaux publiés antérieurement.

Il n'a pas abordé le travail de confrontation entre termes voisins, ni celui des éliminations de termes qui apparaissent, au moins à certains pédologues, défectueux : un tel travail ne peut être réalisé qu'en équipe, dans des commissions, après de nombreuses discussions, et demandera plusieurs années.

Mais l'auteur à su mener à bien une entreprise considérable ; il s'est heurté à des difficultés nombreuses en raison de la diversité d'origine des mots provenant de disciplines différentes et du choix, parfois arbitraire, effectué par certains auteurs qui, souvent, ne connaissent pas les autres travaux sur le même sujet.

Il s'en est tiré avec bonheur et cet ouvrage rendra de très grands services à tous ceux qui s'intéressent aux sols ; il soulèvera des questions et suscitera des discussions qui seront assurément fructueuses : il permettra ainsi de faire avancer la science pédologique.

En tout cas, ce sera un instrument commode pour ceux, de plus en plus nombreux, qui doivent consulter des ouvrages de pédologie, géologie ou géographie en langues allemande ou anglaise.

635. 9 : 631. 544

LAURIE (A.) KIPLINGER (D. C.) et NELSON (K. S.). — **Commercial flower forcing.** 6 ed., London, Mac Graw-Hill, 509 p., 1958.

Spécialistes des questions horticoles à l'Ohio State University, les auteurs envisagent, dans cet ouvrage, destiné aussi bien aux étudiants qu'aux horticulteurs, les différents aspects de la culture des fleurs en serre. Les premiers chapitres sont consacrés aux questions générales : l'aménagement, l'équipement et l'entretien des serres, les facteurs du milieu influençant la croissance des plantes, les sols et leur stérilisation, les cultures sans sol, les engrais, les maladies et insectes nuisibles. Les chapitres suivants passent en revue les différentes cultures florales et les caractéristiques propres à chacune d'elles.

Cette sixième édition tient compte des nombreux faits nouveaux, survenus au cours de ces dix dernières années, qu'ils soient d'ordre scientifique ou technique, tels les recherches poursuivies sur le photopériodisme, l'utilisation des matières plastiques dans la construction des serres, le conditionnement de l'air, ou d'ordre économique, comme le développement rapide des facilités de transport, qui a amené de profondes modifications dans le marché des fleurs.

M. L. C.

BLACH (C. A.). **Soil-plant relationships.** 1 vol. 332 p. — John Wiley and Sons publication date 8/12/17.

Ce livre a été écrit par un chercheur et professeur particulièrement compétent en « Science du sol » et spécialement intéressé aux relations plantes-sol.

Ce livre a pour but de présenter une vue d'ensemble de ces relations. Celles-ci sont soigneusement analysées, et une discrimination sérieuse permet au lecteur de bien distinguer l'essentiel de l'accessoire.

Ce livre est clair, concis, bien documenté et agréable à lire.

Les différents chapitres s'intitulent : 1. soil composition ; 2. soil water ; 3. soil aeration ; 4. exchangeable bases ; 5. soil acidity ; 6. soil salicity and alkalinity ; 7. nitrogen ; 8. phosphorus ; 9. potassium.

Nous pensons que ce livre serait particulièrement précieux aux chercheurs des « Stations Agronomiques » ,mais aussi à tous ceux qui sont intéressés aux relations plantes-sol. C'est dire qu'il serait utile à la plupart des agronomes.

Y. COÏC.

TABLE DES MATIÈRES DE L'ANNÉE 1958

Mémoires originaux.

Barbier (**G.**) et **Duval** (**L.**). — Sur l'échange des cations présents en minime proportion — Applications à la rétention du Strontium et du Césium radioactifs dans le sol 695
Blachère (**H.**), **Ferry** (**P.**) et **Obaton** (**M.**). — Préparation enzymatique du glucose - 6 - phosphate à partir de l'amidon 533
Blanchet (**R.**). — Actions directes et indirectes de la matière organique humifiée sur la nutrition des végétaux vasculaires..... 499
Bouat (**A.**), **Renaud** (**P.**) et **Dulac** (**J.**). — Etude sur la physiologie de la nutrition de l'Olivier (5e mémoire)..... 193
Chaminade (**R.**). — Influence de la matière organique humifiée sur l'efficacité de l'azote 167
Chaussidon (**J.**). — Rappel de quelques notions thermodynamiques relatives à l'activité des ions dans le sol..... 5
Coppenet (**M.**) et **Hélias** (**Mme M.**). — Les sols de la région de Gourin (Morbihan)..... 217
Damagnez (**J.**). — Les propriétés hygroscopiques des sols et les apports secondaires d'humidité — Importance du mulch naturel 661
Depardon (**L.**) et **Buron** (**P.**). — Contribution à l'étude agronomique de l'Orléanais..... 429
Desaunettes (**J. R.**) et **Vigneron** (**J.**). — Etude pédologique au 1/50 000e de la Costière du Gard et de la Vistrenque..... 749
Feodoroff (**A.**). — Un appareil pour le tamisage de la terre sous l'eau..... 537
Franc De Ferrière (**P. S. S.**), **Camez** (**Th.**) et **Millot** (**G.**). — Influence des types d'argile des sols et de la pluviosité sur la nutrition potassique de la pomme de terre 51
Franc De Ferrière (**P. S. S.**), **Camez** (**Th.**) et **Millot** (**G.**). — Influence des types d'argile des sols et de la pluviosité sur la nutrition potassique du blé 149
Gilly (**G.**). — Acidité et aluminium échangeable..... 679
Gras (**R.**). — Contribution à l'étude des sols de la région de Laon 719
Guennelon (**R.**). — Contribution à l'étude de l'érosion des sols du Bas-Rhône. II. Sols sur sables miocènes et pliocènes dans le Vaucluse ... 453
Hénin (**S.**) et **Féodoroff** (**A.**). — Sous-solage et drainage taupe 567
Hénin (**S.**), **Monnier** (**G.**) et **Combeau** (**A.**). — Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols..... 73
Jouis (**E.**) et **Hangard** (**E.**). — Quelques analyses d'amendements organiques autres que les fumiers de ferme 257
Lefèvre (**P.**). — Dosage de quantités minimes de magnésium en présence de quantités importantes de calcium 481

Lefèvre (**G.**) et **Hiroux** (**G.**). — Essai de bilan de la production d'azote minéral d'un sol en place 23
Lefèvre (**G.**) et **Hiroux** (**G.**). — Influence des fumures azotées et potassiques sur l'exportation d'une culture de betteraves sucrières..... 443
Lefèvre (**P.**). — Quelques phénomènes d'érosion en Picardie 93
Mériaux (**Mme S.**) et **Gilly** (**G.**). — Considérations pédologiques et agronomiques sur le Val de Saône..... 593
Pierron (**A.**). — Le zinc et le cuivre dans le sapin et le pommier en fonction de la nature du sol 713
Strasman (**A.**), **Quidet** (**P.**) et **Blanchet** (**R.**). — Dynamique du potassium dans le sol et alimentation potassique des plantes..... 637

ANALYSES BIBLIOGRAPHIQUES

I. — Méthodes et techniques.

a) Sols :

Adams (**F.**) et **Rouse** (**R. D.**). — Emploi d'une résine échangeuse d'anions pour éliminer l'interférence des anions dans la détermination du calcium par le photomètre de flamme 270
Asghai (**A. G.**) et **divers.** — Une méthode pour l'estimation des sulfates dans les sols et dans l'eau d'irrigation 269
Broadbent (**F. E.**). — Complexes matières organiques du sol-métal. II. — Chromatographie des complexes de cuivre et de calcium 270
Chang (**S. C.**) et **Jackson** (**M. L.**). — Fractionnement du phosphore du sol 269

b) Divers :

Hill, **Cottnigham.** — Une méthode spectrophotométrique d'analyse de solutions de chélate et son application à l'étude des chélates de fer dans les sols et les plantes..... 271
Nozzolini (**V.**). — L'application des méthodes statistiques à l'expérimentation agronomique. Plans expérimentaux pour les champs d'essais 271
Petruccioli (**G.**). — Utilisation des rayons infra-rouges pour la détermination de l'humidité au laboratoire 547

II. — Sols et amendements.

a) Propriétés physiques et mécaniques :

Del Gaudio (**S.**). — Expérimentation de l'action d'un conditionneur sur la structure d'un sol argileux 547
Pratt (**P. F.**). — Influence des engrais et des matières organiques sur la capacité d'échange de cations d'un sol irrigué 131

b) propriétés chimiques et physicochimiques :

Atkinson (**A. S.**) et **Wright** (**J. R.**). — Les chélates et le mouvement vertical des constituants du sol..... 273
Broadbent (**F. E.**) et **Oh** (**J. B.**). — Complexes matière organique-métal. I) Facteurs affectant la rétention de différents cations..... 132

Cecconi (**C. A.**). — La mobilité des diverses formes de phosphore dans le sol 133
Eschena (**T.**). — Applications de l'électrodialyse aux recherches sur la mobilisation des phosphates dans le sol 133
Gattoria (**G.**) et **Pallota** (**U.**). — Etude physico-chimique des sols du bassin de Fucino 548
Karim (**A. Q. M. B.**) et **Malek** (**M. A.**). — Fixation du potassium dans les sols de l'est du Pakistan dans différentes conditions 791
Mériaux (**S.**). — Étude expérimentale de l'action d'un calcaire broyé sur un sol du Morvan 274
Nômmik (**H.**). — Fixation et désorption de l'ammonium dans les sols 273
Pratt (**P. F.**) et **Goulben** (**B.**). — Fixation du potassium dans le sol dans des essais de longue durée sur le citronnier 272
Russel (**R. S.**) et **divers.** — Les facteurs de l'alimentation phosphatée des plantes dans le sol. I) Relations entre le phosphore isotopiquement diluable et l'absorption 132
Schufle (**J. A.**). — Influence des agents complexants sur l'ordre d'échange des cations sur la kaolinite 273
Stevenson (**F. J.**). — Recherches sur les polysaccharides aminés dans les sols. I) Détermination colorimétrique des hexosamines dans les hydrolysats de sols 131
Stevenson (**F. J.**). — Recherches des amino polysaccharides dans les sols. II.) Distribution des hexosamines dans quelques profils 271
Stojanovic (**B. J.**) et **Broadbent** (**F. E.**). — Influence des basses températures sur les transformations azotées dans le limon argileux d'Honcoye 272
Talibudeen (**O.**). — Phosphore isotopiquement échangeable des sols. III. Répartition des diverses catégories du phosphore du sol 547
Wahhab et **Ahmad.** — Améliorations dans la détermination de la capacité d'échange de cations 132
Wahhab (**H.**), **Randhawa** (**M. S.**) et **Alam** (**S. Q.**). — Perte d'ammoniac à partir du sulfate d'ammonium appliqué au sol dans différentes conditions 272

c) Oligoéléments :

Massey (**M. F.**). — Relation entre le zinc du sol, extractible à la dithizone et l'absorption du zinc par le maïs 133

d) Rapports avec les cultures :

Bottini (**E.**) et **Libero** (**A.**). — La richesse en calcium et phosphore des foins de la « Vauda » de Turin 792
Fabris (**A.**) et **Albonico** (**F.**). — Effets de l'irrigation et de la fertilisation sur la production et la qualité de quelques cultures fourragères en Campanie 792
Haussmann (**G.**) et **Chisci** (**G.**). — Premières observations sur l'évolution de la fertilité dans les gazons de prairies 791
Lefévre (**P.**). — L'érosion des sols en Picardie 274
Martin (**J. P.**) et **Erwin** (**J. O.**). — Influence du degré de saturation en bases sur la tolérance des plants d'avocatier au sodium et potassium échangeables du sol 274

Pruice (**A. L.**). — Influence de la nature du sol sur la composition minérale des tissus de maïs d'après l'analyse spectrographique 134
Scott Russel (**R.**), **Russel** (**E. W.**) et **Marais** (**P. G.**). — Facteurs affectant la possibilité pour les plantes d'absorber les phosphates d'un sol. II. Une comparaison sur la facilité de diverses espèces végétales à absorber les phosphates labiles du sol 548
Wallace (**Arthur**). — Influence de la température du sol sur l'absorption des cations par l'orge et le soja 134
Wehunt (**R. L.**), **Stelly** (**M.**) et **Collins** (**W. O.**). — Influence du sodium et du potassium sur le maïs et le trèfle incarnat cultivés sur un limon sableux de Norfolk en présence de deux taux de potassium résiduels 275

e) MICROBIOLOGIE :

Llyod (**R. Frédérick**). — Formation des nitrates à partir de l'azote ammoniacal dans les sols. Influence de la population nitrifiante..... 134
Mac Colla (**T. M.**) et **divers.** — Influence des différents facteurs sur l'agrégation du loess de Peorian par les microorganismes 275

f) PÉDOLOGIE ET CARTOGRAPHIE :

Bottini (**E.**). — Étude physico-chimique des sols en Ligurie. Note III, la région Savonèse..... 549
Peretti (**L.**). — La région Savonèse..... 548

g) AMENDEMENTS ET AMÉLIORATIONS PHYSIQUES :

Allison. — Action des polymères améliorants de sols sur la capacité d'échange des cations 135
Jones (**M. B.**) et **Martin** (**W. P.**). — Méthodes pour évaluer la stabilité des agrégats à la suite d'un traitement avec le H. P. A. N. et influence des différents sels non organiques 135
Slotzy (**G.**) et **Mortensen** (**J. L.**). — Influence des résidus de récoltes et des apports d'azote sur la décomposition d'un sol tourbeux de l'Ohio 276

III. — Fertilisation des sols.

a) EXPÉRIMENTATION GÉNÉRALE :

Collier (**D.**), **Gachon** (**L.**) et **Robelin** (**M.**). — Cinquième année d'expériences en cases de végétation de la station agronomique du Massif Central — Essais sur orge de printemps 276
Eaton (**F. M.**) et **Ergle** (**D. R.**). — Nutrition minérale du cotonnier 277
Ghisleni (**P. L.**). — Recherches sur la biologie et le développement du trèfle ladino (Trifolium repens L.) 1re partie 277
Hausmann (**H.**) et **Steinberg** (**C.**). — Essais de fertilisation des prairies de montagne 549

b) AMENDEMENTS HUMIQUES :

Hébert (**J.**). — Le problème de l'humus dans les régions de culture industrielle du nord de la France 278

e) Engrais phosphatés :

Bottini (**E.**). — Sur l'efficacité des phosphates micropulvérisés..... 549

g) Oligoéléments :

Benson (**N. R.**) et **divers.** — Réponse de quelques arbres fruitiers aux chélates de zinc 279
Boawn (**L. C.**), **Viets** (**F.**) et **Crawford** (**C**). — Utilisation par les plantes du zinc provenant de différents composés zinciques et d'engrais..... 278
Candela (**M. I.**), **Fisher** (**E. G.**) et **Hewitt** (**E. J.**). — Le molybdène, aliment de la plante ; quelques facteurs agissant sur l'activité de la nitrate réductase du chou-fleur cultivé avec différentes sources d'azote et différents niveaux de molybdène en culture sur sable 136
De Kock (**P. C.**) et **Mitchell** (**R. L.**). — Absorption par les plantes de métaux chélatés 280
Harris (**H.**) et **Gilman** (**R. L.**). — Action du bore sur les arachides 278
Kaykendall (**J. R.**), **Hilgeman** (**R. H.**) et **Van Horm** (**C. U.**). — Réponse des agrumes chlorotiques de l'Arizona aux applications de chélate de zinc dans le sol 280
Kroll (**H.**). — Le chélate ferrique de E D D H A pour le traitement de la chlorose calcaire..... 281
Romney et **coll.** — Absorption par les plantes du ^{90}Sr, ^{91}Y, ^{106}Ru, ^{137}Cs et ^{144}Ce des sols 136
Skok (**J.**). — Substitution des substances complexantes au bore dans la croissance des végétaux..... 136
Stewart (**J.**) et **Léonard** (**C. P.**). — Emploi des chélates dans la production d'agrumes en Floride 279
Wallace (**A.**) et **coll.** — Quelques aspects de l'emploi de chélates métalliques comme sources de microéléments 279

IV. — Production végétale.

a) Phytotechnique :

Bonsembiante (**M.**) et **Dessanti** (**A.**). — Recherches sur la production et la teneur en éléments nutritifs de la luzerne, suivant les coupes et les stades végétatifs 137
Cosmo (**I.**) et **divers.** — Recherches sur la reconstitution viticole de la province de Venise. 2e étude, zone du Piave. 3e étude, zone de Brenta 138
Cosmo (**I.**) et **coll.** — Recherches sur la reconstitution du vignoble de la plaine de Padoue 549
Cosmo (**I.**) et **coll.** — Recherches sur la reconstitution du vignoble vénitien en vue de son orientation future. Résultats expérimentaux sur cépages et porte-greffes dans la province de Bellino depuis 1923 550
Lipps (**R. C.**), **Fox** (**R. L.**) et **Kochler** (**F. E.**). — Activité caractéristique des racines de luzerne d'après les méthodes radioactives..... 281
Bradford Vickery (**H.**). — Formation de l'amidon et comportement de l'acide isocitrique dans les feuilles excisées de Bryophyllum calycinum cultivées à l'obscurité 281

Williams (**D. E.**) et **Vlamis** (**J.**). — Action de la silice sur le rendement la fixation et la distribution du manganèse 54 daus les feuilles d'orges cultivées sur solutions de culture 550

b) PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE :

Appleman (**D.**) et **Pyfrom** (**M. T.**). — Changements dans l'activité de la catalase et autres conséquences induites chez les végétaux par la lumière bleue ou rouge 284

Asselbergs (**E. A. M.**). — Études sur la formation de l'acide ascorbique dans des feuilles de pommier détachées 139

Bach (**M. K.**) et **coll.** — Migration des produits photosynthétiques vers les nodosités de soja et leur rôle dans la fixation de l'azote 551

Barbagallo (**L.**) et **Di Benedetto** (**P.**). — Recherches sur la nutrition minérale de la betterave à sucre au moyen du diagnostic foliaire 793

Barrier (**G. E.**) et **Loomis** (**W. E.**). — Absorption et migration de l'acide 2-4 dichlorophénoxyacétique et de ^{32}P par les feuilles 282

Bennett (**E.**). — Action d'une solution d'acide perchlorique sur la teneur en xylane de l'Holocellulose des rachis de maïs 284

Bottini (**E.**). — Le mécanisme de l'action des oligoéléments sur l'activité enzymatique 792

Brown (**J. C.**) et **coll.** — Métabolisme des hydrates de carbone et des acides organiques avec distribution de ^{14}C, sous l'influence du cuivre chez le blé Thatcher 552

Bukovac (**M. J.**) et **Wittwer** (**S. H.**). — Absorption et mobilité des éléments nutritifs appliqués aux feuilles 555

Dotti et **coll.** — Le diagnostique foliaire du pêcher. Perfectionnement de la méthode 556

Epstein (**E.**). — Pénétration passive et transport actif des ions dans les racines de la plante 283

Jensen (**W. A.**). — Teneur en hydrate de carbone des cellules terminales des racines d'allium cepa 552

Kahn (**J. S.**) et **Hanson** (**J. B.**). — Action du calcium sur l'accumulation du potassium dans les racines de maïs et de soja 140

Kessler (**B.**) et **Moscicki** (**Zeo. W.**). — Action de l'acide triiodobenzoïque et de l'hydrazide maléique sur le transport du calcium et du fer appliqué aux feuilles 552

Koontz (**H.**) et **Biddulph** (**O.**). — Facteurs affectant l'absorption et le mouvement du phosphore appliqué aux feuilles 555

Ordin (**L.**) et **Bonner** (**J.**). — Action du galactose sur la croissance et le métabolisme des sections du coleoptile d'avoine 282

Richardson (**K. E.**) et **Axelrod** (**B.**). — Variations dans le temps en inositol au cours de la germination et de la croissance de quelques végétaux supérieurs 139

Skok (**J.**). — Relation entre la nutrition en bore et la radiosensibilité du tournesol 554

Slater (**W. G.**) et **Beevers** (**M.**). — Utilisation du d-glycuronate par les coléoptiles de maïs 550

Stolwsk (**J. A. J.**) et **Thimann** (**K. V.**). — Sur l'absorption du gaz carbonique et du bicarbonate par les racines et leur influence sur la croissance 554

Stuart Frear (**D.**) et **Burrell** (**R. C.**). — Assimilation de N^{15} à partir de l'hyponitrite marqué par les feuilles de soja..... 551
Swanson (**C. A.**) et **El-Shishiny** (**E. D. H.**). — Migration des sucres chez la vigne,variété Concord 553
Thimann (**K. V.**) et **Loos** (**G. M.**). — Synthèse protéinique au cours de la fixation d'eau par le tissu des tubercules..... 138
Tolbert (**N. E.**) et **Wicke** (**H.**). — Composés phosphorés et sulfurés de la sève du xylène de la plante 285
Tombesi (**L.**) et **Cale** (**T.**). — Le métabolisme des végétaux et les disponibilités hydriques du sol 556
Weller (**L. E.**), **Bakl** (**C. D.**) et **Sell** (**H. M.**). — Études des interactions de l'hydrazide maléique avec la fonction thiol 283
Wooley (**J. T.**). — Le Sodium et la Silice comme aliments des plants de tomate 140
Wooley (**J. T.**) et **coll.** — Migration du chlore à l'intérieur des plantes.... 553

c) Climatologie — Écologie :

Malterre et **Fioramonti.** — Influence de deux caractéristiques du milieu sol-climat sur la productivité des blés en Haute Garonne 285

d) Divers :

Maymone (**B.**). — Aspects particuliers de la conservation du fourrage.... 793
Olsen Ralph (**A.**). — Absorption du SO_2 de l'atmosphère par le coton 793

V. — Divers.

Giovannini (**E.**). — Contribution à la connaissance des eaux d'irrigation.
Note 1. — Les eaux courantes de surface et les eaux de puits de la Plaine de Catanie et des zones limitrophes 141
Gornig (**C. A. I.**) et **Youngson** (**C. R.**). — Facteurs influençant la destruction des nématodes par le dibromure d'éthylène dans le sol..... 141

VI. — Bibliographie.

Blach (**C. A.**). — Soil plant relationships..... 796
Collette (**A.**). — Humus agricole..... 560
Dansereau (**P.**). — Biogeography. An ecological perspective..... 559
Duchaufour (**Ph.**). — Pédologie. Applications forestières et agricoles..... 145
Duckham (**A. N.**). — The fabric of farming 558
Girard (**H.**) et **Rougieux** (**R.**). — Technique de microbiologie agricole ... 143
Lauche (**R.**). — Internationales Handbuch der bibliographien des Landbaues Bayerischer Landwirtschaftsverlag. 286
Laurie (**A.**), **Kiplinger** (**D. G.**) et **Nelson** (K. **S.**). — Commercial flower forcing 796
Lecomte (**A.**) et **Riedel** (**C. E.**). — L'agriculture productive 560
Ledingham (**G. A.**) et **Blackwood** (**A. C.**). — Review of industrial microbiology in British Commonwealth Countries..... 794
Luthin (**J. N.**). — Drainage of agricultural lands 286

Plaisance (**G.**). — Lexique pédologique trilingue 795
Plaisance (**G.**) et **Cailleux** (**A.**). — Dictionnaire des Sols 557
Pochon et **Barjac** (**H. de**). — Traité de microbiologie des sols. Applications agronomiques 143
Renault (**R.**). — Chimie agricole : t. 1. Chimie végétale : t. 2. La biosphère 794
Russel (**Sir E. John**). — The world of the soil 144
Sadownikov (**I. F.**). — Bodenkundliche Untersuchungen sowie deren Auswertung durch Bodenkarten 558
Tempany (**Sir H.**) et **Grist** (**D. H.**). — An introduction to tropical agricultures 794
Weickmann (**H.**) et **Smith** (**W.**). — Le déclenchement artificiel de la pluie 145

TABLE ALPHABÉTIQUE

ADAMS (F.) et ROUSE (R. D.) 270
ALLISON 135
APPLEMAN (D.) et PYFROM (H. T.) 284
ASGHAI (A. G.) et divers 269
ASSELBERGS (E. A. M.) 139
ATKINSON (A. S.) et WRIGHT (J. R.) 273
BACH (M. K.) et coll 551
BARBAGALLO (L.) et DI BENEDETTO (P.) 793
Barbier (G.) et Duval (L.) 695
BARRIER (G. E.) et LOOMIS (W. E.) 282
BENNET (E.) 284
BENSON (N. R.) et divers 279
BLACH (C. A.) 796
Blachère (H.), Ferry (P.) et Obaton (M.) 533
Blanchet (R.) 499
BOAWA (L. C.), VIETS (F.) et CRAWFORD (C.) 278
BONSEMBIANTE (M.) et DESANTI (A.) 137
BOTTINI (E.) 549 549 792
BOTTINI et LIBERO (A.) 792
Bouat (A.), Renaud (P.) et Dulac (J.) 193
BRADFORD VICKERY (H.) 281
BROADBENT (F. E.) 270
BROADBENT (F. E.) et OTT (J. B.) 132
BROWN (J. C.) et coll. 552
BUKOVAC (M. J.) et WITTWER (S. H.) 555
CANDELA (M. I.), FISHER (E. G.) et HEWITT (P. J.) 136
CECCONI (C. A.) 133
Chaminade (R.) 167
CHANG (S. C.) et JACKSON (M. L.) 269
Chaussidon (J.) 5
COLLETTE (A.) 560
COLLIER (D.), GACHON (L.) et ROBELIN (M.) 276
Coppenet (M.) et Mme Hélias (M.) 217
COSMO (T.) et coll. 138 550 549
Damagnez (J.) 661
DANSEREAU (P.) 559
DE KOCK (P. C.) et MITCHELL (R. L.) 280
Depardon (L.) et Buron (P.) 429
Desaunettes (J. R.) et Vigneron (J.) 749
DOTTI et coll. 556
DUCHAUFOUR (Ph.) 145
DUCKHAM (A. N.) 558
EATON (F. M.) et ERGLE (D. R.) 277

EPSTEIN (E.) 283
ESCHENA (T.) 133
FABRIS (A.) et ALBONICO (F.) 792
Feodoroff (A.) 537
Franc de Ferrière (P. S. S.), **Camez (Th.)** et **Millot (G.)** 51-149
GATTORIA (G.) et PALLOTA (U.) 548
DEL GAUDIO (S.) 547
GHISLENI (P. L.) 277
Gilly (G.) 679
GIOVANNINI (E.) 141
GIRARD (H.) et ROUGIEUX (R.) 143
GORNIG (C. A. I.) et YOUNGSON (C. R.) 141
Gras (R.) 719
Guennelon (R.) 453
HARRIS (H.) et GILMAN (R. L.) 278
HAUSSMANN (G.) et CHISCI (G.) 791
HAUSMANN (H.) et STEINBERG (C.) 549
HEBERT (J.) 278
Hénin (S.), **Monnier (G.)** et **Combeau (A.)** 73
Hénin (S.) et **Feodoroff (A.)** 567
HILL COTTNINGHAM 271
JENSEN (W. A.) 552
JONES (M. B.) et MARTIN (W. P.) 135
Jouis (E.) et **Hangard (E.)** 257
KAHN (J. S.) et HANSON (J. B.) 140
KARIM (A. Q. M. B.) et MALEK (M. A.) 791
KAY KENDALL (J. R.), HILGEMAN (R. M.) et VAN HORM (C. W.) 280
KESSLER (B.) et MOSCICKI (ZeoW.) 552
KOONTZ (H.) et BIDDULPH (O.) 555
KROLL (H.) 281
LAUCHE (R.) 286
LAURIE (A.), KIPLINGER (D. C.) et NELSON (N. S.) 796
LECOMTE (A.) et RIEDEL (C. E.) 560
LEDINGHAM (G. A.) et BLACKWOOD (A. C.) 794
Lefèvre (G.) et **Hiroux (G.)** 23-443
Lefèvre (P.) 93-481
LEFÈVRE (P.) 274
LIPPS (R. C.), FOX (R. L.) et KOCHLER (F. E.) 281
LLOYD (R. F.) 134
LUTHIN (J. N.) 286
MAC COLLA (T. M.) et divers 275
MALTERRE et FIORAMONTI 285
MARTIN (S. P.) et ERWIN (J. O.) 274
MASSEY (M. F.) 133
MAYMONE (B.) 793
MÉRIAUX (S.) 274
Mériaux (Mme S.) et **Gilly (G.)** 593
NOMMIK (H.) 273
NOZZOLINI (V.) 271
ORDIN (L.) et BONNER (J.) 282
OLSEN RALPH (A.) 793

PERETTI (L.) 548
PETRUCCIOLI (G.) 547
Pierron 713
PLAISANCE (G.) 795
PLAISANCE (G.) et CAILLEUX (A.) 557
POCHON et BARJAC (Mme de) 143
PRATT (P. F.) 131
PRATT (P. F.) et GOULBEN (B.) 272
PRUICE (A. L.) 134
RENAULT (R.) 794
RICHARDSON (Keith E.) et AXELROD (B.) 139
ROMNEY et coll. 136
RUSSEL (Sir E. John) 144
SCOTT RUSSEL (R.), RUSSEL (E. W.) et MARAIS (P. G.) 132 548
SADOWNIKOV (I. F.) 558
SCHUFLE (J. A.) 273
SKOK (J.) 136 554
SLATER (W. G.) et BEEVERS (H.) 550
SLOTZY (G.) et MORTENSEN (Y. L.) 276
STEVENSON (F. J.) 131 271
STEWART (J.) et LEONARD (C. D.) 279
STOJANOVIC (B. S.) et BROADBENT (F. E.) 272
STOLWJK (J. A. J.) et THIMANN (K. U.) 554
Strasman (A.), Quidet (P.) et Blanchet (R.) 637
STUART FREAR (D.) et BURRELL (R. C.) 551
SWANSON (C. A.) et EL-SHISHINY (E. D. H.) 553
TALIBUDEEN (O.) 547
TEMPANY (Sir H.) et GRIST (D. H.) 794
THIMANN (Kenneth V.) et LOOS (Gordon M.) 138
TOLBERT (N. E.) et WIEBE (M.) 285
TOMBESI (L.) et CALE (T.) 556
WAHHAB et AHMAD 132
WAHHAB (A.), RANDHAWA (M. S.) et ALAM (S. Q.) 272
WALLACE (A.) et coll 279
WALLACE (A.) 134
WEHUNT (R. C.), STELLY (M.) et COLLINS (W. O.) 275
WEICKMANN (M.) et SMITH (W.) 145
WELLER (L. E.), BAKL (C. D.) et SELL (H. M.) 283
WILLIAMS (D. E.) et VLAMIS (J.) 550
WOOLLEY (J. T.) 140
WOOLEY et coll. 553

Le Directeur Gérant : B. LACLAVIÈRE.

Imprimerie Bussière à Saint-Amand (Cher), France. — 23-6-1959

Dépôt légal : 2e trimestre 1959 *N° d'impression : 436*